

Zuverlässigkeit der Kiefergelenkröntgenprogramme des Orthophos CD

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von Sonja Giebel, geb. Köhler
aus Kulmbach

Gießen 2001

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Kieferorthopädie
Direktor: Prof. Dr. Pancherz
des Universitätsklinikums Gießen

Betreuerin: Dr. S. Ruf

Gutachter: Prof. Dr. Pancherz

Gutachter: PD Dr. Klingmüller

Tag der Disputation: 30. Oktober 2001

Meinem Ehemann Manfred gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Entwicklung und Anatomie des Kiefergelenkes	2
2.1	Entwicklung	2
2.2	Anatomie	2
3	Kiefergelenkerkrankungen	6
4.	Darstellung des Kiefergelenks im Röntgenbild	11
4.1	Aufnahmetechniken	11
4.1.1	Unterkieferaufnahme: aufsteigender Ast	11
4.1.2	Kontaktaufnahme des Kiefergelenkes nach Parma	12
4.1.3	Modifizierte Felsenbeinaufnahme nach Schüller	13
4.1.4	Die okzipitofrontale Aufnahme nach Clementschisch	13
4.1.5	Panorama-Schichtaufnahme-Orthopantomogramm (OPG)	14
5	Ziel der Arbeit	16
6	Material	17
7	Methode	18
7.1	Technische Daten des Röntgengerätes	18
7.2	Charakteristika der Aufnahmetechniken	18
7.2.1	Programm 4	19
7.2.2	Programm 5	20
7.2.3	Programm 8	22
7.2.4	Programm 9	25
7.3	Versuchsaufbau	27
7.4	Methoden zur Auswertung	30
7.4.1	Analyse der Condylusdarstellung und Gelenkspaltbreiten	30
7.5	Metrische Analyse der Condylusdarstellung und der Gelenkspaltbreiten	31
7.5.1	Auswertung sagittaler Darstellungen des Kiefergelenkes (Programm 4 und 8)	31
7.5.1.1	Condylusformen und Gelenkspaltbreiten	31
7.5.2	Ermittlung von Projektionsänderungen der Condylusmarker (Programm 4)	33
7.5.3	Ermittlung von Projektionsänderungen der Condylusmarker (Programm 8)	34
7.5.4	Auswertung frontaler Darstellung des Kiefergelenkes (Programm 5 und 9)	36
7.6	Analyse der Fossadarstellung	36
8	Methodenfehler	38
8.1	Berechnung des Methodenfehlers	38
9	Statistische Methoden	41
10	Ergebnisse	42
10.1	Condylusformmessungen und Gelenkspaltbreiten (Programm 4)	42
10.1.1	Condylusform und Fossahöhe	42
10.1.2	Gelenkspaltbreiten	49

10.2	Ergebnisse der Auswertung der Markerpositionen (Programm 4)	55
10.2.1	Sagittale Markerposition	55
10.2.2	Vertikale Markerposition	63
10.3	Ergebnisse der Röntgenprogramme P5, P8 und P9	72
10.4	Ergebnisse der Fossaanalyse	75
11.	Diskussion	77
11.1	Material und Methode	77
11.2	Methodenfehler	78
11.3	Röntgenprogramm P4	78
11.4	Röntgenprogramme P5, P8 und P9	83
11.5	Fossaanalyse	84
11.6	Klinische Konsequenzen	84
	Zusammenfassung	87
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang	97
	Lebenslauf	100
	Danksagung	101

1. Einleitung

Eine beträchtliche Anzahl des zahnärztlichen Patientengutes im Praxisalltag weist Störungen des stomatognathen Systems auf, die mit Kiefergelenksveränderungen einhergehen. Koole (1996) schätzt den Anteil dieser Patienten in Bezug auf das Gesamtpatientengut auf ein Drittel. Auch andere Studien belegen diese Zahlen (Stursberg, 1987; Drücke, Klemmt, 1980).

Die Diagnostik dieser Erkrankungen stützt sich neben der klinischen Untersuchung vor allem auf die Röntgendiagnostik. Spezielle Kiefergelenksaufnahmen können in diesem Zusammenhang zur Klärung von osteogen verursachten Kiefergelenkschmerzen beitragen.

Im Rahmen des technischen Fortschrittes kommen immer neue, verbesserte Röntgenapparate auf den Markt, die mehr Leistung bei besserer Effizienz versprechen. Im Zeitalter der Budgetierung zahnärztlicher Leistungen und Qualitätsmanagement ist von diesen Geräten zu erwarten, daß sie die Kriterien Diagnosesicherheit und Kosteneffizienz im höchsten Maße erfüllen.

Das Siemens Orthophos CD verspricht neben einem verbessertem Preis-/Leistungsverhältnis und einer reduzierten Strahlendosis eine wesentliche Verbesserung der Bildqualität bei den Kiefergelenksaufnahmen durch eine neu entwickelte 3-Punkte-Fixierung. Mit Hilfe dieser Technik soll vermieden werden, daß durch Eigenbewegungen des Kopfes bei den Kiefergelenksaufnahmen Fehlprojektionen entstehen.

Da sich jedoch minimale Veränderungen der Kopfposition wahrscheinlich nie verhindern lassen (zum Beispiel, wenn der Patient dem Röntgenpersonal beim Verlassen des Röntgenraumes hinter her sieht), stellt sich die Frage, inwiefern solche minimalen Positionsveränderungen auf dem Röntgenbild Fehlprojektionen verursachen, die eine falsche Diagnose zur Folge haben könnten.

2. *Entwicklung und Anatomie des Kiefergelenkes*

2.1 Entwicklung

Bei der Entwicklung des viszeralen Skeletts lassen sich in der embryonalen Phase vier Viszeralbögen und fünf Schlundtaschen unterscheiden. Das Kiefergelenk entwickelt sich aus dem ersten Viszeralbogen. Die Entwicklung des Kiefergelenkes ist phylogenetisch und ontogenetisch betrachtet sekundärer Natur (Sperber, 1992). Das primäre Kiefergelenk liegt zwischen den Gehörknöchelchen Malleus und Incus und wird aus dem dorsalen Ende des Meckelschen Knorpels gebildet (Sperber, 1992; Waldeyer, 1993). Im Laufe der embryonalen Phase und während der Entwicklung des Mittelohres geht die Verbindung des primären Kiefergelenkes zur Mandibula verloren. Innerhalb der Übergangsphase, die während der zehnten Schwangerschaftswoche stattfindet, ist eine synchrone Bewegung des Gelenkes zwischen Incus und Malleus und dem entstehenden definitiven sekundären Kiefergelenk zu beobachten.

Der temporale Anteil des Kiefergelenkes entwickelt sich aus dem temporalen Blastem, das in der embryonalen Phase auf das Blastem des Condylus mandibulae zuwächst (Sperber, 1993). Ab der siebten Schwangerschaftswoche ist die Entstehung des Discus articularis zu erkennen.

Bei Neugeborenen stellt sich die Fossa mandibularis flach dar: Das Tuberculum articulare ist kaum sichtbar. Während des siebten Lebensjahres und mit Durchbruch der bleibenden Zähne bildet sich das Tuberculum articulare allmählich aus (Sperber, 1993).

2.2 Anatomie

Das Kiefergelenk stellt eine frei bewegliche Verbindung zwischen dem Condylus der Mandibula und dem Os temporale dar. Die temporale Gelenkfläche wird durch die Fossa gleniodalis der Pars squamosa ossis temporalis gebildet, die sich nach anterior in das Tuberculum articulare fortsetzt. Nach dorsal wird die Fossa durch die Pars tympanica ossis temporalis (Spina postglenoidalis) begrenzt. Die Fossa glenoidalis weist sowohl in lateromedialer, als auch in anteroposteriorer Richtung eine konkave Form auf. Das nach anterior anschließende Tuberculum articulare ist in mediolateraler Richtung leicht konkav, während es in postero-anteriorer Richtung konvex ist.

Der Processus condylaris der Mandibula ist elliptisch bis olivenförmig geformt oder hat ein walzenförmiges Aussehen. Der spulenförmige Condylus ist von lateromedial nach anteroposterior konvex. Unterhalb dieser Konvexität liegt die Fovea pterygoidea die Ansatzstelle des Musculus pterygoideus lateralis. Die Form des Condylus kann individuell sehr unterschiedlich sein. Zu 58% zeigt sich die konvexe Form, 25% der Condylen sind flach, zwölf Prozent haben ein gewinkeltes Aussehen und fünf Prozent sind rund (Yale, 1966). Bei Kindern findet sich vorwiegend eine runde Condylusform.

Die Gelenkkapsel

Das Gelenk wird von einer Gelenkkapsel umgeben, die dem Gelenk Stabilität verleiht. Dorsal ist sie am lateralen und medialen Processus postgleniodalis befestigt; ventral steht sie in Verbindung mit dem Tuberculum articulare und kaudal setzt die Kapsel am Collum mandibulae an (Waldeyer, 1993 und Yale, 1966). Eine wichtige Aufgabe der Gelenkkapsel ist die Produktion der synovialen Flüssigkeit, um ein reibungsarmes Gleiten des Condylus bei Bewegung des Unterkiefers zu ermöglichen.

Die Gelenkkapsel läßt sich aus histomorphologischer Sicht in zwei verschiedene Schichten unterteilen. Das äußere Stratum fibrosum besteht aus einem dichten fibrösen Bindegewebe, das regelmäßig angeordnet ist. Die innere Schicht wird durch das Stratum synoviale gebildet. Dieses spaltet sich in die Lamina subintima, die vor allem elastische Fasern enthält, und in die Lamina intima, welche die Synovialflüssigkeit produziert, auf (Steenks, 1991 und Yale, 1966).

Die Synovia

Die vom Stratum synoviale der Gelenkkapsel gebildete synoviale Flüssigkeit enthält hochkonzentriert Hyaluronsäure und weist Polysaccharid-Protein-Komplexe auf. Beim erwachsenen Menschen werden die gelenkbegrenzenden Gewebe ausnahmslos durch die synoviale Flüssigkeit ernährt. Eine weitere Aufgabe der Synovia besteht darin, anfallende Stoffwechselprodukte abzutransportieren (Yale, 1966). Die Synovia dient außerdem der Gelenkschmierung. Dabei unterscheidet McCauchen (1978) zwei Mechanismen. Erstens die „boundary lubrication“, wobei durch gegenseitigen Einfluß der Gelenkflüssigkeit und der Gelenkoberfläche eine Gleitschicht entsteht. Zweitens die „weeping lubrication“, hierbei

entsteht aufgrund der Unterkieferbewegung eine Strömung der Gelenkflüssigkeit innerhalb der Zellen, die sich in Richtung Oberfläche bewegt (Katzberg, 1994).

Pathologische Veränderungen der Gelenkbewegung können zu einer empfindlichen Störung des Diffusionsprozesses und außerdem zum Untergang der matrixproduzierenden Zellen führen (Steenks und de Wijer, 1991).

Der Discus articularis

Die Inkongruenz des Caput mandibulae und Facies articularis der Fossa glenoidalis wird durch den Discus articularis ausgeglichen. Bei diesem handelt es sich um eine bikonkaven Faserknorpel, der das Gelenk in die kraniale discotemporale und in die kaudale discomandibuläre Gelenkkammer unterteilt. In der oberen Gelenkkammer findet eine Gleitbewegung zwischen dem temporalen Anteil des Gelenks und dem Discus statt. In der unteren Gelenkkammer erfolgt eine kombinierte Roll- und Gleitbewegung zwischen dem Discus und Caput mandibulae (Steenks und de Wijer, 1991). Die Bewegungen des Discus als Relativbewegung zum Condylus während der Bewegungsphasen des Unterkiefers erfolgen passiv.

Es lassen sich folgende drei Discusabschnitte unterscheiden (Steenks und de Wijer, 1991):

1. Die *Pars anterior*, die im Längsschnitt querverlaufenden kollagene Fasern aufweist, ist mit der Sehne des Musculus pterygoideus lateralis und dem anterioren Anteil der Gelenkkapsel verbunden.
2. Die *Pars intermedia*, die längsverlaufende kollagene Fasern enthält, ist zwischen dem Caput mandibulae und der Eminentia des Tuberculum articularis lokalisiert.
3. Die *Pars posterior*, die querverlaufende kollagene Fasern aufweist, geht dorsal in die bilaminäre Zone über.

In der Pars anterior und der Pars posterior finden sich neben kollagenen Fasern auch vereinzelt einstrahlende Blutgefäße und sensible Nervenfasern.

Die bilaminäre Zone

Die bilaminäre Zone lässt sich in drei verschiedene Schichten unterteilen: Stratum superius, Stratum inferius und Genu vasculorum. Das Stratum superius besteht aus elastischen Fasern und verläuft von der Pars posterior des Discus articularis zur Fissura petrosquamosa. Während der Öffnungsphase des Unterkiefers kommt es zur Dehnung des Stratum superius. Das Stratum inferius erstreckt sich von der Pars posterior des Discus articularis zur Dorsalfläche des Condylus und besteht aus straffem kollagenem Bindegewebe. Das Genu vasculosum, welches zwischen Stratum superius und inferius liegt, besteht aus lockerem kollagenem Bindegewebe. Es ist stark vaskularisiert und enthält außerdem noch sympathische Nervenfasern, sowie elastisches Bindegewebe, das in die Gefäßwände einstrahlt, und Fettgewebe (Moffet, 1968; Steenks, 1991; Waldeyer, 1993).

3. Kiefergelenkerkrankungen

Unter Kiefergelenkerkrankungen versteht man eine Schädigung der anatomischen Struktur des Kiefergelenks durch multifaktorielle Ursachen. Als kausale Faktoren werden hämatogene, bakterielle oder traumatische Einflüsse sowie entzündliche Prozesse, und systemische oder neurologische Erkrankungen diskutiert (Mittermayer, 1993). In der terminalen Phase des Erkrankungsprozesses ist meist eine krankhafte Veränderung der knöchernen Anteile des Kiefergelenks festzustellen (Schulte, 1990).

Die Inzidenz der Kiefergelenkerkrankungen steigt mit zunehmenden Alter. Einige Autoren (Schulte, 1990; Roberts, 1984; Koole, 1996) zeigen anhand klinischer Untersuchungen, daß um das 25. Lebensjahr die Häufigkeit der Erkrankungen zunimmt und bis zum 40. Lebensjahr weiter ansteigt. Frauen und Männer sind gleichhäufig betroffen (Roberts, 1984). Die Anzahl der Erkrankten innerhalb der Bevölkerung wird mit 24% bis 79% beschrieben (Roberts, 1984).

Folgende Symptome können bei einer klinischen Untersuchung festgestellt werden: Schmerzen, Gelenkgeräusche, die sich in Form von Knack- und Reibegeräuschen manifestieren und Bewegungseinschränkungen. Diese drei Grundsymptome können einzeln oder in Kombination auftreten. Der Ausprägungsgrad der einzelnen Symptome kann sehr stark variieren. Ein Hauptproblem in der Diagnostik der Kiefergelenkerkrankungen ist, daß die Symptome nicht auf die Kiefergelenke und die Zahnreihen beschränkt sind, sondern viel mehr im gesamten Kopfbereich auftreten können.

Besteht aufgrund der klinischen Untersuchung des Patienten der Verdacht, daß eine Erkrankung des Kiefergelenks vorliegt, können als weiteres diagnostisches Hilfsmittel Röntgenaufnahmen der Kiefergelenke hinzugezogen werden, die vor allem dann indiziert sind, wenn der Verdacht auf eine Veränderung der knöchernen Kiefergelenksstrukturen und / oder der Position des Condylus innerhalb der Fossa glenoidalis mit daraus resultierender Veränderung der Gelenkspaltbreite besteht.

In diesem Kapitel werden nur diejenigen Krankheiten besprochen, die mit einer Veränderung der Knochenstruktur oder einer Dimensionsänderung der Gelenkspaltbreite einhergehen und somit radiologisch diagnostizierbar sind.

Primäre Kiefergelenkerkrankungen

Primäre Kiefergelenkerkrankungen manifestieren sich zuerst im Kiefergelenk und können dort zu ausgeprägten Funktionsstörungen führen, wie zum Beispiel Schmerzen bei der Mundöffnung, eingeschränkte Mundöffnung bis hin zur Kieferklemme sowie Knack- und Reibegeräusche (Bock und Ködel, 1969; Krogh-Poulsen, 1973).

Arthritis

Definition. Bei der Arthritis handelt es sich um eine primär entzündliche Schädigung der Gelenke. Von dieser Erkrankung existieren mehrere Formen, die sich entsprechend ihrer Ätiologie einteilen lassen in folgende Formen:

1. *Mikrobielle Arthritis:* Sie wird durch Bakterien, Viren oder selten durch Pilze ausgelöst.
2. *Immunologische Arthritis:* Nach einer endo- oder exogen induzierten Bildung von Antigen-Antikörper-Komplexen gelangen diese hämatogen in die Gelenkkapsel und initiieren dort eine Entzündung, die zur Gelenkdestruktion führen kann.
3. *Rheumatoide Arthritis:* Bei der rheumatoiden Arthritis handelt sich um eine Autoimmunerkrankung unklarer Ätiologie, die eine Knorpel- und Knochendestruktion verursachen kann.
4. *Spezifische Arthritiden:* Zu den spezifischen Arthritiden gehören Arthritiden bei tuberkulösen und gonorrhoischen Infektionen. Sie sind heutzutage selten.

Röntgenbefund. Im akuten Stadium tritt zunächst eine Verbreiterung des Gelenkspaltes auf, später zeigen sich destruktive Veränderungen der knöchernen Strukturen.

Unspezifische akute Arthritis

Ätiologie. Streptokokken oder Staphylokokken, die hämatogen, oder durch benachbarte Krankheitsherde, zum Beispiel durch eine Parotitis, in das Gelenk weitergeleitet werden, können eine akute Arthritis verursachen (Reich, 1997). Auch durch ein Trauma kann es zu

einer Verschleppung der Krankheitserreger kommen, beispielsweise bei einer dislozierten Kollumfraktur.

Klinik: Die Krankheit beginnt mit starken Schmerzen und einer Schwellung oberhalb des Tragus, wobei der Unterkiefer infolge einer leichten Vorschubstellung des Condylus auf der erkrankten Seite zur gesunden Seite abweicht. Als Begleitsymptome treten Fieber, eine erhöhte Blutsenkungsgeschwindigkeit sowie ein reduzierter Allgemeinzustand auf.

Röntgenbefund: Im akuten Stadium sind im Röntgenbild keine Veränderungen zu erkennen, erst nach Fortschreiten der Erkrankung erscheint eine Verbreiterung des Gelenkspaltes auf der betroffenen Seite. Eine Zerstörung der knöchernen Strukturen ist erst nach längerem Krankheitsverlauf zu diagnostizieren.

Arthrosen

Definition: Bei dieser Erkrankung handelt es sich um eine degenerative Schädigung der Gelenkknorpel. Nach Mittermayer (1993) unterscheidet man zwei Formen:

1. *Primäre Arthrose:* Bei der idiopathischen, primären Form liegt eine Gelenkknorpelveränderung vor, die auf einer Stoffwechselstörung des Knorpels selbst basiert.
2. *Sekundäre Arthrose:* Sie manifestiert sich bei inadäquater Belastung des Gelenkknorpels, wie zum Beispiel bei Fehlstellungen des Gelenkes oder bei Entzündungen und Mikrotraumen.

Ätiologie: Arthrosen entstehen durch mechanische und / oder stoffwechselbedingte Ursachen. Der Beginn der Arthrose geht mit dem Verlust der sauren Mukopolysaccharide einher. Dadurch kommt es zur Fibrillation des Knorpels, daß heißt die kollagenen Fasern liegen frei und getrennt voneinander (Mittermayer,1993). Als Folge manifestieren sich Ulzerationen und Spaltbildungen, die bis in die Zone des verkalkten Knorpels und der knöchernen Deckplatte reichen. Schließlich kommt es zum Knorpelabbau, der durch freiwerdende lysosomale Enzyme beschleunigt wird und im Knochenabbau endet.

Röntgenbefund: Im Röntgenbild kann ein verschmälertes Gelenkspalt diagnostiziert werden, desweiteren kann eine Abflachung der Eminentia articularis und / oder des Condyluskopfes auftreten. Desweiteren können Hyperostosen und Randexostosen sichtbar sein

Ankylosen

Definition. Eine Ankylose ist eine knöcherne oder kapsuläre Gelenkversteifung mit vollständigem Bewegungsverlust (Psychrembel, 1998). Sie kann sowohl knöchern, als auch fibrös sein kann. Man unterscheidet eine extra- und eine intraartikuläre Form.

Ätiologie. Ursächlich für Ankylosen sind meistens Gelenktraumata, entzündliche Einwirkungen oder die Arthrosis deformans. Wesentlich seltener tritt sie auf als Folge von Bestrahlungen oder malignen Tumoren. Ein diagnostischer Hinweis ist die zunehmende, kaum schmerzhaft Mundöffnungseinschränkung, die bis zur absoluten Kieferklemme eskalieren kann. Vorschub- und Seitwärtsbewegungen des Unterkiefers sind nur eingeschränkt oder kaum mehr möglich.

Röntgenbefund. Die Röntgenaufnahmen werden unter maximal möglicher Mundöffnung angefertigt. Dabei fällt eine Durchbauung des Gelenkspaltes mit sklerotischem Knochen und Bindegewebe auf. Dies kann den gesamten Gelenkspalt betreffen. Der Condylus erscheint im Röntgenbild oft erheblich erweitert (Reich, 1997).

Frakturausschluß bei Traumaanamnese

Ätiologie. Durch ein stumpfes Trauma kann es zu einer frakturlosen Gelenkkontusion des Caput mandibulae kommen, welche mit einer Ödembildung beziehungsweise einem Hämarthros einhergehen kann. Dies führt zu vorübergehenden Okklusionsstörungen auf der betroffenen Seite. Bei Mundöffnung ist eine Mittellinienabweichung des Unterkiefers zur erkrankten Seite zu erkennen. Die Mundöffnung ist schmerzhaft eingeschränkt möglich.

Röntgenbefund: Nur mit Hilfe eines Röntgenbildes kann die Collumfraktur sicher ausgeschlossen werden. Zusätzlich kann eine Verbreiterung des Gelenkspaltes diagnostiziert werden.

Statische Gelenkkompression

Bei einer statischen Gelenkkompression handelt es sich um eine Fehlstellung der Condylen in der Fossa glenoidalis. Diese Kompression kann im Gelenk ein- oder beidseitig auftreten (Schulte, 1990). Sie entsteht häufig durch Trauma, Parafunktion oder Zahnfehlstellung. Als Folge wird vom Patienten häufig eine schmerzhafteste Bewegungseinschränkung bei der Mundöffnung und/ oder beim Kauen harter Speisen angegeben, wodurch der Patient zu einer Schonhaltung gezwungen wird (Marxkors, 1993). Im Röntgenbild stellt sich der kraniale und/ oder posteriore Gelenkspalt verengt dar.

4. Darstellung des Kiefergelenks im Röntgenbild

Für die röntgenologische Darstellung des Kiefergelenks gibt es verschiedene Aufnahmetechniken. Die unterschiedlichen Charakteristika der am häufigsten zur Anwendung kommenden Aufnahmeverfahren sollen im folgenden Abschnitt kurz dargestellt werden. Gemeinsam ist diesen generell extraoralen Röntgenaufnahmen die Verwendung starrer Filmkassetten mit Verstärkerfolie aus Calciumwolframat.

4.1 Aufnahmetechniken

4.1.1 Unterkieferaufnahme: aufsteigender Unterkieferast

Diese Technik dient zur Darstellung des Ramus mandibulae oder eines Unterkieferabschnittes, der sich gelenknah befindet. Dazu wird der aufsteigende Unterkieferast parallel zur Kassette gelagert. Der Zentralstrahl richtet sich, wie in Abbildung 1 dargestellt, von einem Punkt unterhalb des Kieferwinkels der filmfernen Seite zur Mitte des aufsteigenden Astes der filmnahen Seite (Ritter, 1988).



Abb. 1: Unterkieferaufnahme: Kopfhaltung und Zentralstrahlführung schematisch (aus: F.A. Pasler, Zahnärztliche Radiologie, Thieme, Stuttgart, 1989, 2. A.)

4.1.2 Kontaktaufnahme des Kiefergelenks nach Parma

Im Vordergrund dieser Aufnahmetechnik steht die Darstellung des Condyluskopfes, des Gelenkhalses und des aufsteigenden Unterkieferastes der filmnahen Seite (siehe Abbildung 2). Der Patient sitzt seitlich aufrecht mit geöffnetem Mund zur Filmkassette, d. h. das aufzunehmende Kiefergelenk liegt mit Wange und Ohr der Filmkassette an. Dabei befindet sich die Medianebene parallel zur Filmebene (Ritter, 1988; Sonnabend, 1991). Der Zentralstrahl zielt vom Tragus der abliegenden Seite auf das zu untersuchende Gelenk.

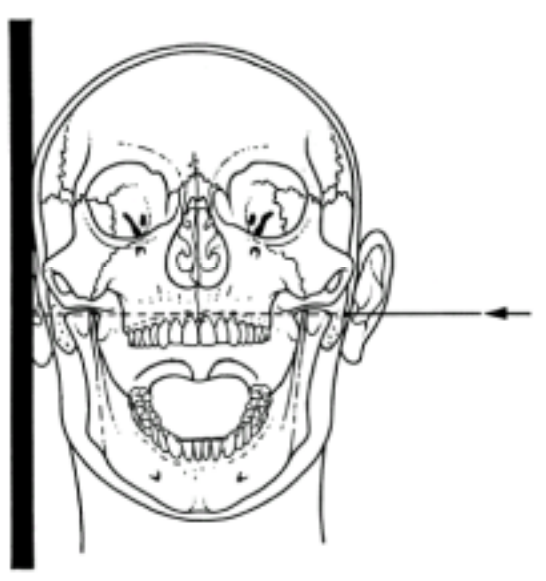


Abb. 2: Kiefergelenk nach Parma: Kopfhaltung und Zentralstrahlführung schematisch. (aus: F.A. Pasler, Zahnärztliche Radiologie, Thieme, Stuttgart, 1989, 2. A.).

Das Besondere dieser Technik ist, daß die Aufnahme durch den Öffnungswinkel des Unterkiefers bestimmt wird, der die Lage des Condylus beeinflusst, der dementsprechend distal, kaudal oder mesial des Tuberculum articulare dargestellt wird. Die Gelenkspaltbreite ist daher mit der Aufnahmetechnik nach Parma nicht beurteilbar (Sonnabend, 1991). Das filmferne Gelenk erscheint oft verprojiziert. Ein entscheidender Nachteil ist die hohe Strahlenbelastung, die durch die zwingende Anwendung eines Flachtubus oder eines abgeschnittenen Kurztubus bedingt ist, welcher der fokushaften Gesichtshälfte direkt anliegt.

4.1.3 Modifizierte Felsenbeinaufnahme nach Schüller

Sie dient der Darstellung des Kiefergelenks der filmnahen Gesichtshälfte bei geschlossenem Mund (siehe Abbildung 3). Die Indikationsschwerpunkte liegen in der Beurteilung von Form, Oberflächengestalt und -struktur des Condylus. Der Kopf des Patienten wird zur Erstellung der Aufnahme in Seitenlage fixiert, wobei das Os zygomaticus direkt der Kassette anliegt. Die Sagittalebene des Kopfes befindet sich in paralleler Position zur Bildebene. Der Zentralstrahl wird zirka drei Zentimeter oberhalb des äußeren Gehörganges der filmfernen zum Kiefergelenk der filmnahen Seite eingestellt (Sonnabend, 1991). Damit resultiert eine Projektionsrichtung schräg kaudal und dorsal mit einem Winkel von ca. 30 Grad. Bei der modifizierten Felsenbeinaufnahme nach Schüller handelt es sich um eine transkraniale Projektion des Kiefergelenks durch die mittlere Schädelgrube. Der Gelenkspalt, vor allem der laterale Anteil ist nur unzureichend zu beurteilen (Sonnabend, 1991).

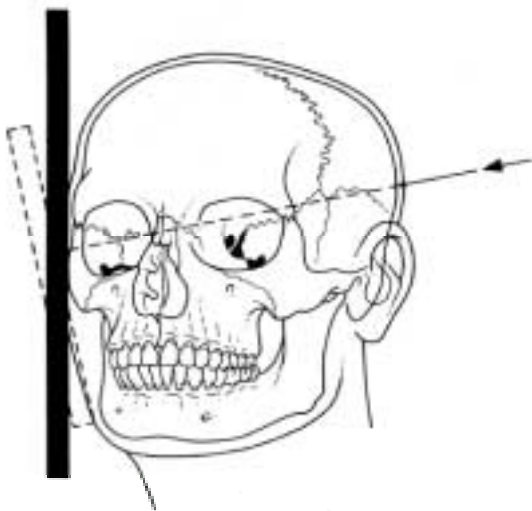


Abb. 3: Kiefergelenk nach Schüller: Kopfhaltung und Zentralstrahlführung schematisch (aus: F.A. Pasler, Zahnärztliche Radiologie, Thieme, Stuttgart, 1989, 2. A.).

4.1.4 Die okzipitofrontale Aufnahme nach Clementschitsch

Die okzipitofrontale Aufnahme eignet sich zur symmetrischen Darstellung beider Kiefergelenke und der aufsteigenden Unterkieferäste, vor allem bei Verdacht auf Kollumfraktur und Kiefergelenksankylose (Ritter, 1991). Die Röntgenaufnahme wird bei maximaler Mundöffnung durchgeführt, wobei der Zentralstrahl vom Nacken zur Nasenwand gerichtet ist und in der Medianebene verläuft (siehe Abbildung 4).

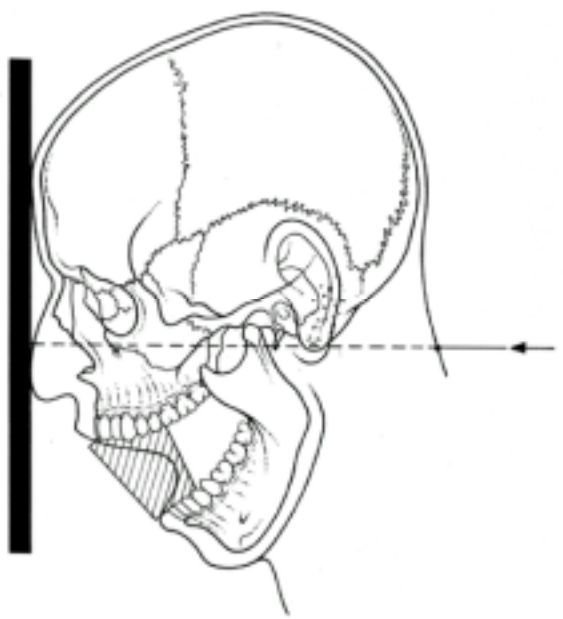


Abb. 4: Kiefergelenk nach Clementschitsch: Kopfhaltung und Zentralstrahlführung schematisch (aus: F.A. Pasler, Zahnärztliche Radiologie, Thieme, Stuttgart, 1989, 2. A.).

4.1.5 Panorama-Schichtaufnahme – Orthopantomogramm (OPG)

Zur gleichzeitigen Abbildung ausgedehnter Bereich des Alveolarfortsatzes des Ober- und Unterkiefers im Röntgenbild mitsamt der Kiefergelenke eignet sich die Panorama-Schichtaufnahme (Synonym: Orthopantomogramm) besonders (Axthelm, 1995; Ritter, 1991). Bei der Orthopantomographie rotieren Strahlungsquelle und Filmkassette um den fixierten Kopf des Patienten (siehe Abbildung 5). Die Strahlungsquelle führt um die abzubildenden Strukturen, nämlich den Zahn- und Kieferbogen, eine Bewegung mit einem elliptischen Verlauf durch, und bildet sie so auf dem Röntgenbild ab. (Ritter, 1991). Strukturen, die sich vor oder hinter diesen beschriebenen Strukturen befinden, werden verwischt beziehungsweise unscharf auf dem Röntgenbild abgebildet. Die Panorama-Schichttechnik wirkt sich allerdings nachteilig auf die Detailgenauigkeit aus, außerdem weisen die so angefertigten Röntgenbilder häufig Überlagerungsschatten auf. Tronje und Tveito (1974) belegen in ihren Studien, daß es bei der Darstellung der Kiefergelenkregionen zu Ungenauigkeiten kommt (Ruf und Pancherz, 1995).

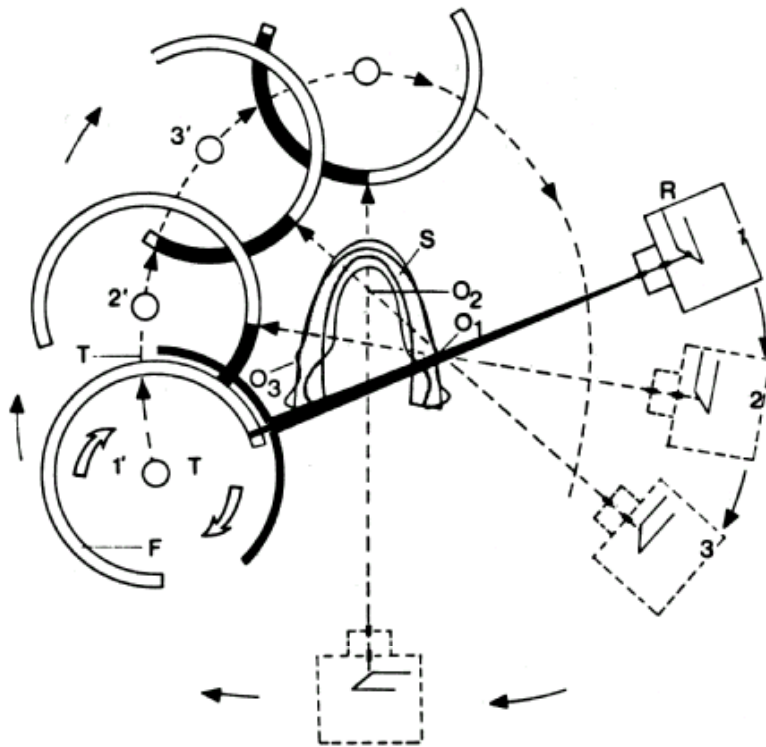


Abb. 5: Prinzip der Orthopantomographie schematisch. (R) Röhre im Gehäuse, (O_1 , O_2 und O_3) Drehzentren, (F) Film, (T) Filmtrommel (aus: F.A. Pasler, Zahnärztliche Radiologie, Thieme, Stuttgart, 1989, 2. A.).

In dem neuen Röntgengerät Orthophos CD[®] sind spezielle Röntgenprogramme zur Kiefergelenkdiagnostik integriert.

5. Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Studie war es, folgende Fragen zu beantworten:

1. Kommt es bei einer geringgradigen Positionsänderung des Schädels im Orthophos CD[®] zu einer veränderten Darstellung der ossären Strukturen des Kiefergelenkes auf dem Röntgenbild?
2. Wie verändern sich die auf dem Röntgenbild dargestellten Strukturen des Kiefergelenkes, wenn bei der Positionierung des Schädels im Orthophos CD[®] geringgradige Veränderungen vorgenommen werden?
3. Welche anatomischen Strukturen des Kiefergelenkes sind von Projektionsänderungen bedingt durch Positionsänderungen des Schädels im Orthophos CD[®] am meisten betroffen?

6. Material

Es wurden sechs mazerierte Schädel (Anthropologisches Institut des Justus-Liebig-Universität Gießen) mit vollständiger Bezahnung des Ober- und Unterkiefers untersucht. Sie lassen sich nach folgenden Alters- und Geschlechtsmerkmalen einordnen:

- zwei Frauenschädel mit einem Sterbealter zwischen 20 und 30 Jahren
- zwei Männerschädel mit einem Sterbealter zwischen 20 und 30 Jahren
- ein Männerschädel mit einem Sterbealter zwischen 30 und 40 Jahren
- ein Männerschädel mit einem Sterbealter zwischen 50 und 70 Jahren

7. Methode

7.1 Technische Daten des Röntgengerätes

Alle Untersuchungen der Kiefergelenksregion wurden mittels des Panoramaschicht-Röntgengerätes Orthophos CD (Hersteller: Siemens Bensheim, Deutschland) durchgeführt (siehe Abbildung 6). Die Variationsbreite der Röhrenspannung beträgt bei diesem Gerät 60-90kV, die des Röhrenstroms 9-16mA. Für alle Röntgenaufnahmen wurden Kodak-T-Mat G Filme mit einem Format von 15x30cm verwendet. Aufgrund der bei den mazerierten Schädeln fehlenden Weichteilstrahlenabsorption war, mit Ausnahme des Programmes 8, bei allen Untersuchungen eine zusätzliche Schwächung des Röntgenstrahles mittels einer 1mm starken Kupferplatte erforderlich, die vor der Röntgenblende platziert wurde. Der aufnahmetechnisch bedingte Vergrößerungsfaktor von 1:1,23, bezogen auf die Schichtmitte, wurde bei der Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

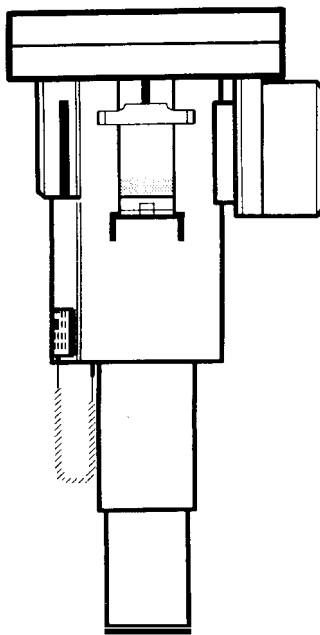


Abb. 6: Orthophos CD[®], schematischer Aufbau.

7.2 Charakteristika der Aufnahmetechniken

Aus den verschiedenen Aufnahmetechniken des Kiefergelenks, die das Orthophos CD ermöglicht, wurden Kiefergelenkspezialprogramme die Programme 4, 5, 8 und 9 für die Untersuchung herangezogen. Die unterschiedlichen Charakteristika der Programme und ihre

seitens des Herstellers angegebenen Darstellungsschwerpunkte werden im folgenden kurz dargestellt.

7.2.1 Programm 4

Beim Programm 4 erfolgt eine Abbildung des rechten und linken Kiefergelenks in mundgeschlossener Position (habituelle Interkuspitation) bei einem annähernd seitlichen Strahlengang und einer Schichtdicke von 30 mm (siehe Abbildung 7a, b). Der Schwerpunkt des Programmes liegt in der Darstellung der Condylenposition im Seitenvergleich, sowie von knöchernen Veränderungen, speziell des Condyluskopfes.

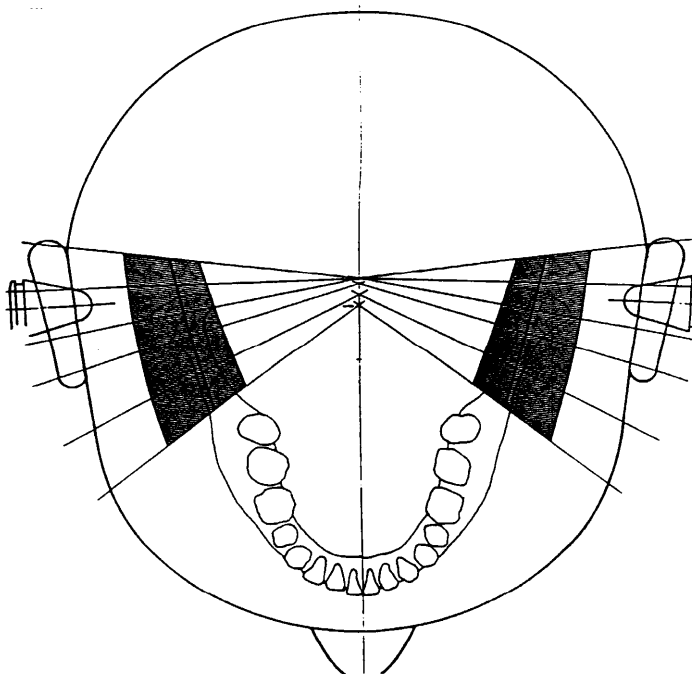


Abb. 7a: Programm 4 des Orthophos CD (Kiefergelenk lateral, mundgeschlossen).

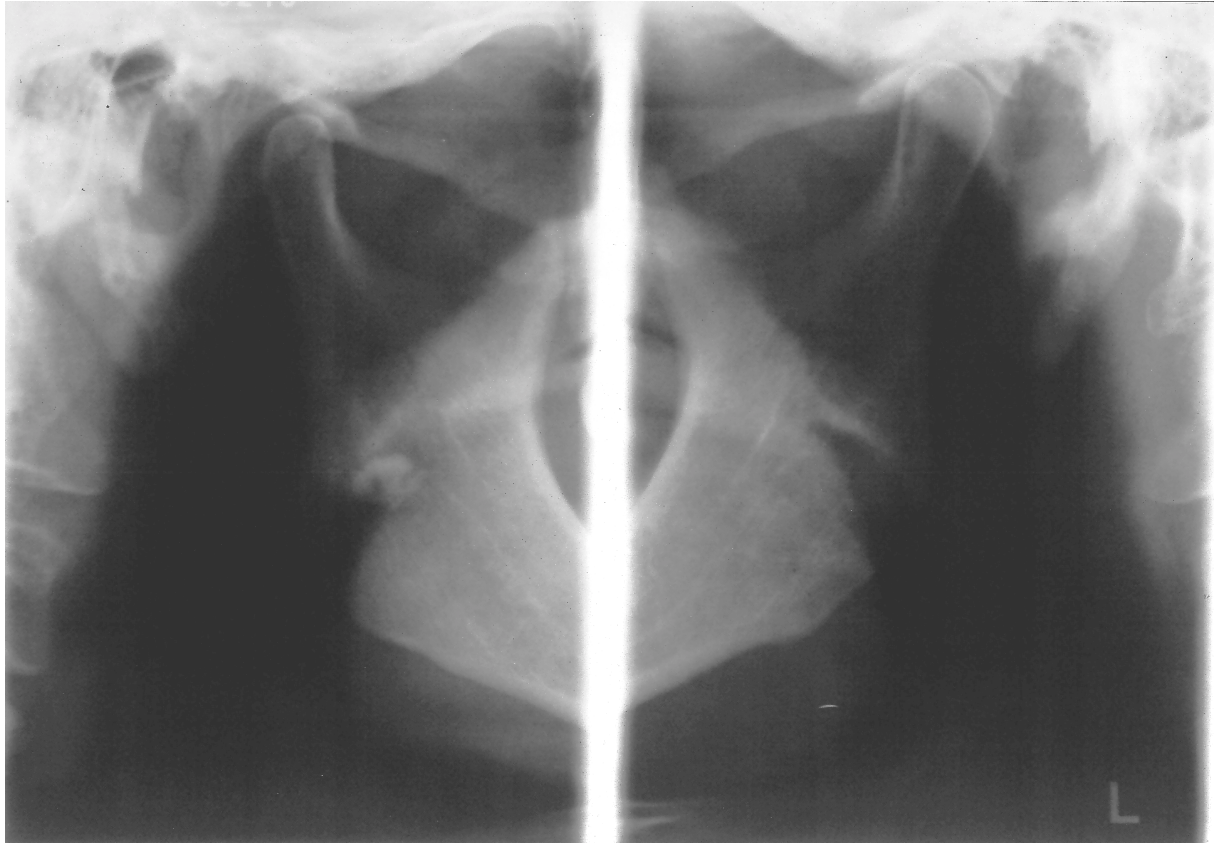


Abb. 7b: Programm 4: Idealröntgenbild des Orthophos CD (Kiefergelenk lateral; mundgeschlossen).

Darstellungsschwerpunkte:

- Frakturen im Bereich des Kiefergelenkfortsatzes und der Processus Coronoideus
- Osteolytische Veränderungen im aufsteigenden Unterkieferast, zum Beispiel Zysten, Neubildungen
- Fremdkörper und Speichelsteine sowie Lymphknotenverkalkungen
- Veränderungen der Knochenstruktur, zum Beispiel Systemerkrankungen, Osteomyelitis
- Zur Verlaufskontrolle bei Collumfrakturen oder nach operativer Therapie von Zysten im aufsteigenden Unterkieferast

7.2.2 Programm 5

Das rechte und linke Kiefergelenk wird bei maximaler Mundöffnung im transmaxillären Strahlengang bei einer Schichtdicke von etwa 15 mm dargestellt (siehe Abbildung 8a, b). Dabei werden die Gelenkfortsätze aus einer beinahe sagittalen Projektion dargestellt. Mit

Hilfe dieses Programmes können vor allem Frakturen im Condylusbereich und arthrotische Veränderungen erkannt werden.

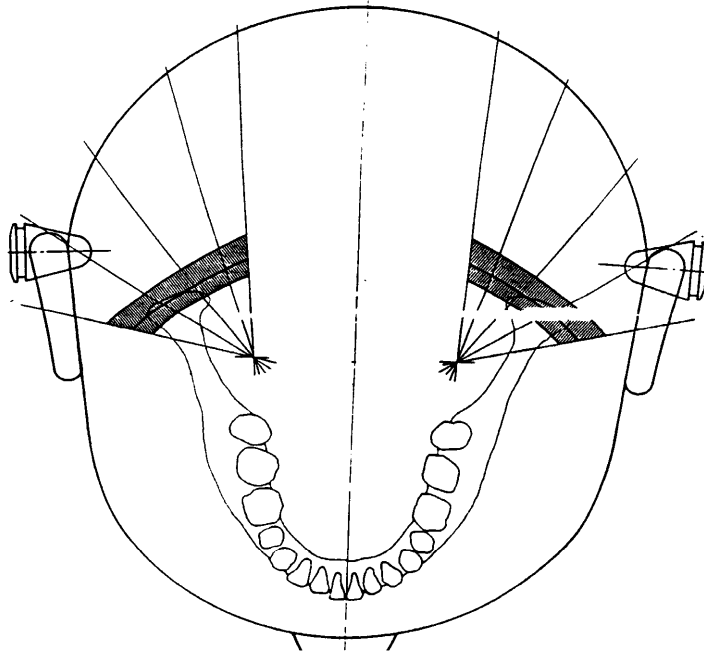


Abb. 8a: Programm 5 des Orthphos CD (Kiefergelenk im transmaxillären Strahlengang, max. Mundöffnung).



Abb. 8b: Programm 5: Idealröntgenbild des Orthophos CD (Kiefergelenk im transmaxillären Strahlengang, max. Mundöffnung).

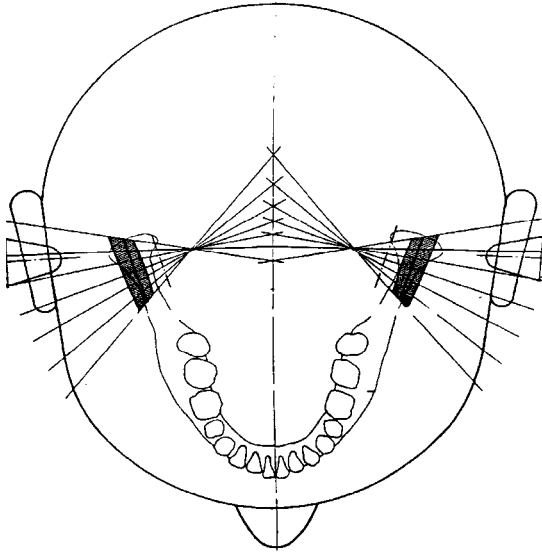
Darstellungsschwerpunkte:

- Frakturen im Gelenkfortsatzbereich
- Beurteilung der Knochenstruktur des Gelenkfortsatzes
- Frakturen im Gelenkfortsatzbereich als zweite Aufnahme zum Orthopantomogramm bzw. der Gelenkaufnahme mit seitlichem Strahlengang
- Arthrotische Veränderungen des Gelenkfortsatzes

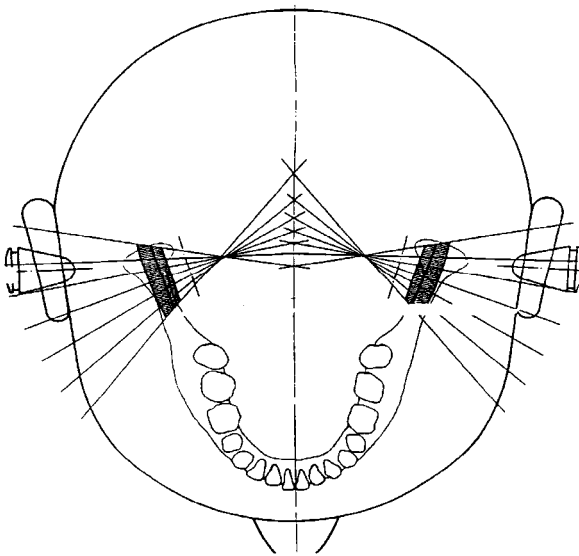
7.2.3 Programm 8

In diesem Programm kommen das rechte und linke Kiefergelenk in mundgeschlossener Position (habituelle Interkuspitation) und seitlicher Multischichtung bei seitlichem Strahlengang zur Darstellung (siehe Abbildung 9a-d). Die drei zueinander parallelen

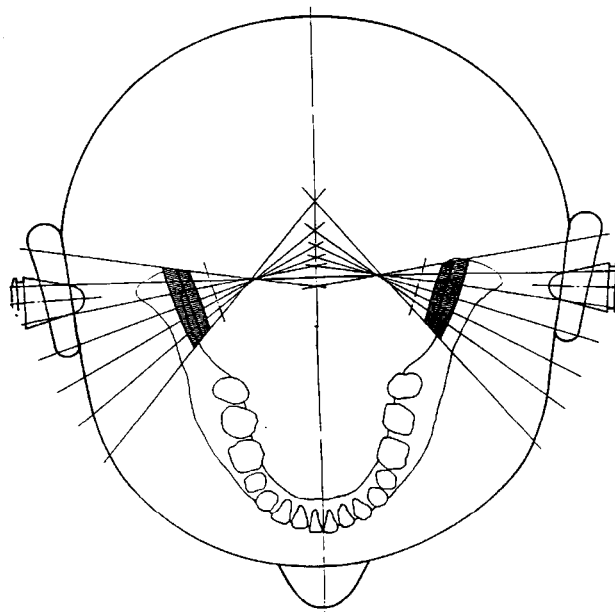
Schichten von jeweils sieben Millimeter Schichtdicke überlappen sich geringfügig. Es können damit vor allem Veränderungen der Gelenkfortsätze und Abweichungen von der normalen Condylenposition erkannt werden.



(a)



(b)



(c)

Abb. 9a-c: Programm 8 des Orthphos CD (seitlicher Strahlengang in drei parallelen Schichten, mundgeschlossen), Grad 1 (a), Grad 2 (b) und Grad 3 (c).

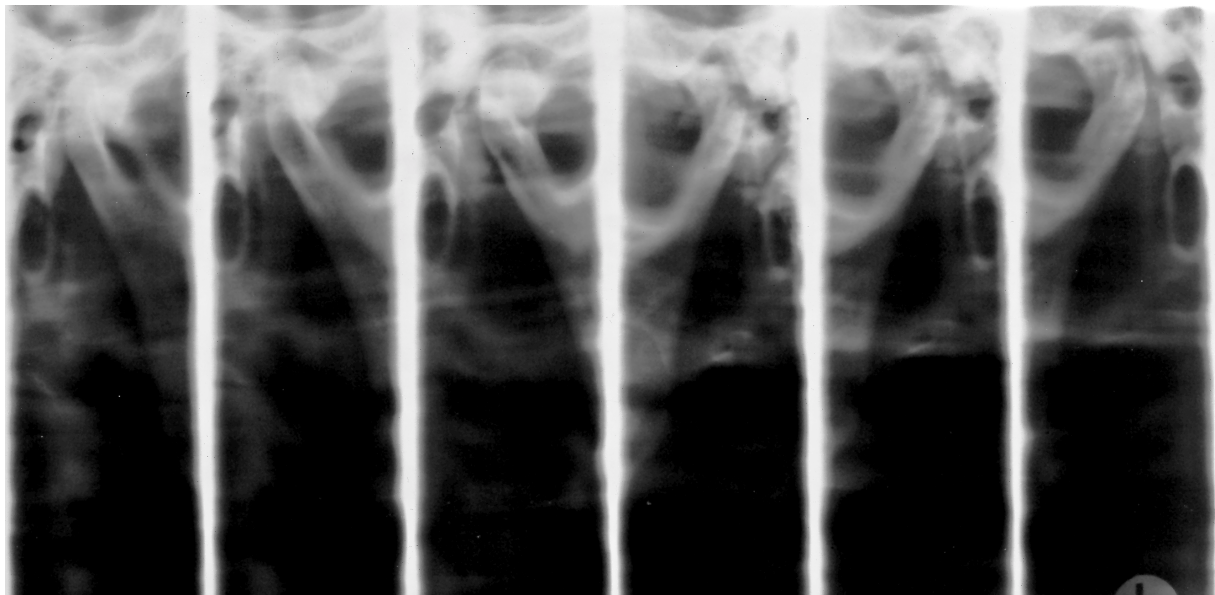


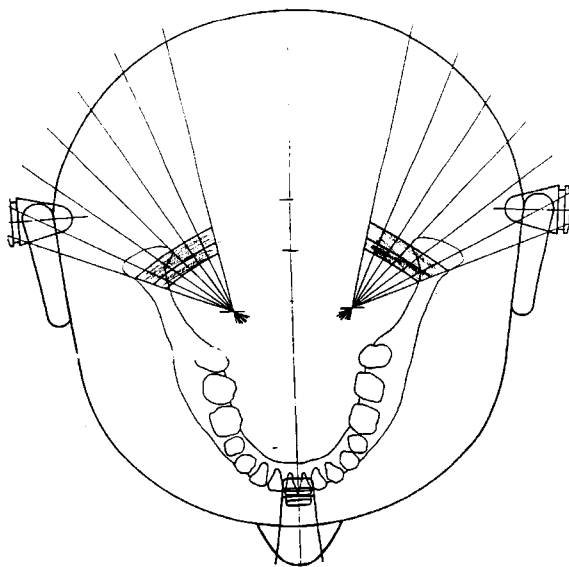
Abb. 9d: Programm 8: Idealröntgenbild des Orthphos CD (seitlicher Strahlengang in drei parallelen Schichten, mundgeschlossen).

Darstellungsschwerpunkte:

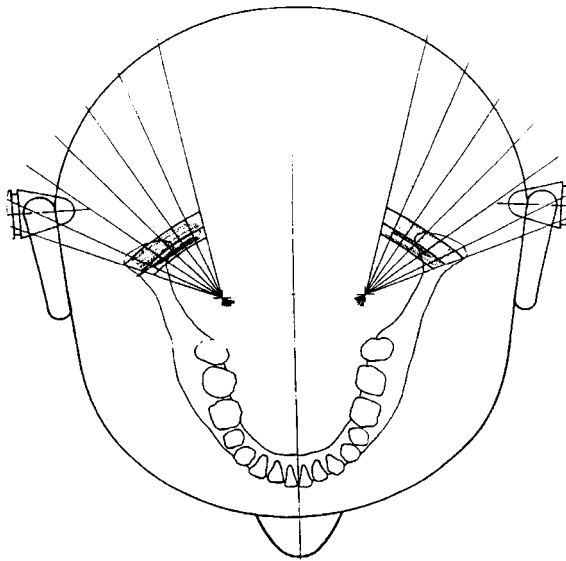
- Knöcherne Veränderungen im Bereich der Gelenkfortsätze
- Abweichungen von der normalen Position der Condylen
- Bei Kiefergelenkserkrankungen, die mit einer Formveränderung der Gelenkfortsätze oder einer Veränderung der Gelenkposition einhergehen

7.2.4 Programm 9

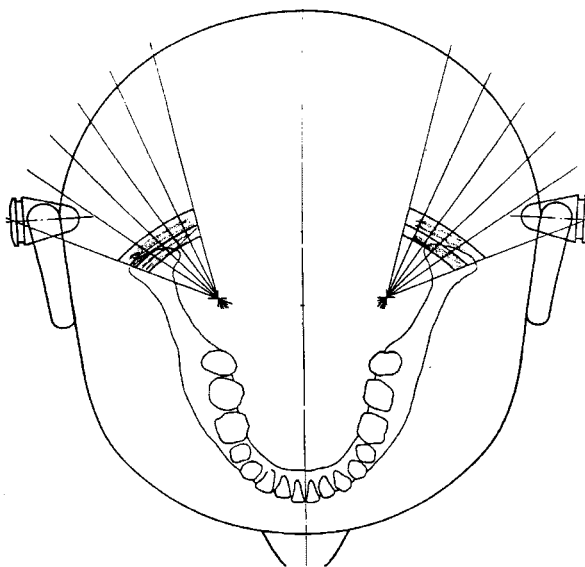
Die Darstellung zeigt das rechte und linke Kiefergelenk in mundgeschlossener Position (habituelle Interkuspidation), wobei eine Multischichtung der Kiefergelenke in der Frontalebene erfolgt (siehe Abbildung 10a-d). Die drei zu einander parallelen Schichten haben jeweils eine Schichtdicke von neun Millimeter, die sich etwas überlappen.



(a)



(b)



(c)

Abb. 10a-c: Programm 9 des Orthophos CD (Kiefergelenk von posterior nach anterior durchstrahlt, mundgeschlossen), Grad 1 (a), Grad 2 (b), Grad 3 (c).

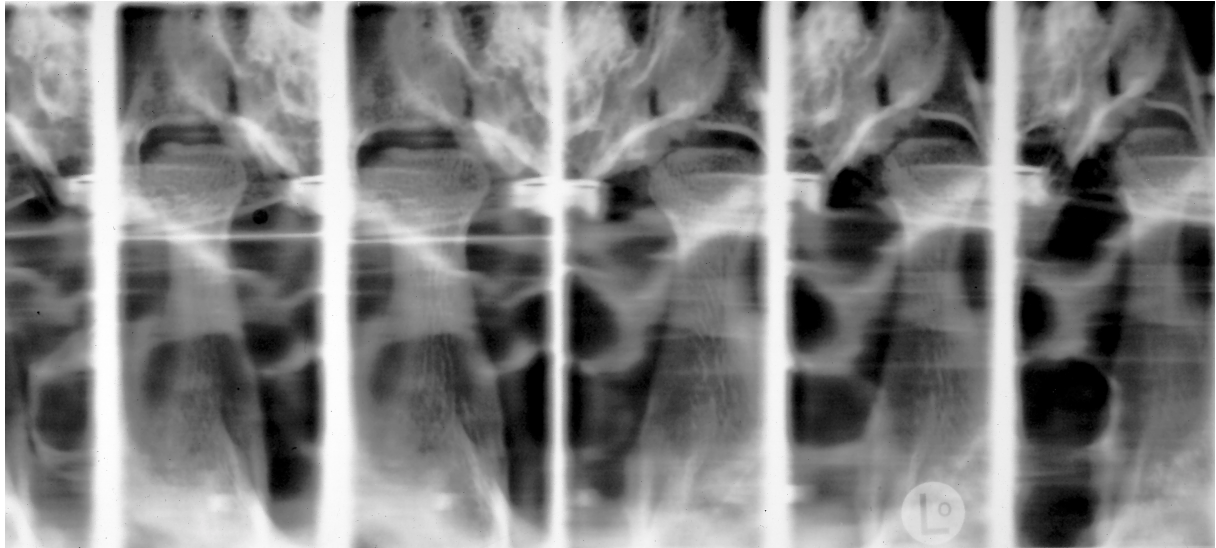


Abb. 10d: Programm 9: Idealröntgenbild des Orthophos CD (Kiefergelenk von posterior nach anterior durchstrahlt, mundgeschlossen).

Darstellungsschwerpunkte:

- Veränderungen der knöchernen Struktur der Condylen
- Frakturen im Gelenkbereich
- Zum Nachweis oder Ausschluß von gelenknahen Frakturen
- Zur Beurteilung von knöchernen Gelenkveränderungen

7.3 Versuchsaufbau

Die Röntgenaufnahmen der Programme 4, 8 und 9 wurden in stabiler maximaler Interkuspidation hergestellt. Für das Programm 5 wurde eine einer maximalen Mundöffnung entsprechenden Unterkieferposition mittels eines treppenförmigen Kunststoffaufbisses reproduzierbar eingestellt. Der Discus articularis wurde durch Interposition von Schaumstoff zwischen Condylus und Fossa simuliert. Die Position der Mandibula wurde durch eine Metallspirale, die sowohl am Unterkiefer, als auch am Schädel stabil befestigt war, fixiert. Die Schädel wurden je nach Programm den Herstellerangaben entsprechend in Idealposition gebracht, dabei wurde der Schädel mittels des Lichtvisiers des Röntgengerätes ausgerichtet. Der horizontale Lichtstrahl wurde an der Frankfurter Horizontalen und der vertikale Lichtstrahl an der Mediansagittalebene ausgerichtet (siehe Abbildung 11).

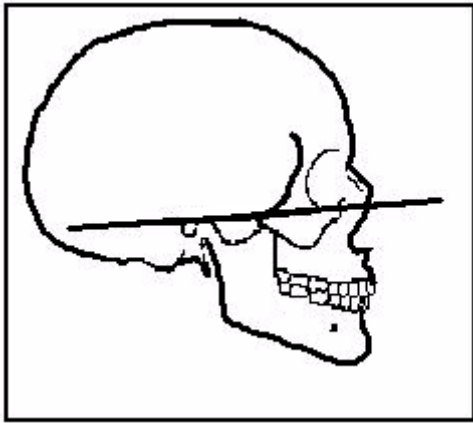


Abb.11: Verlauf der Frankfurter Horizontalen, die eine Verbindungslinie zwischen dem oberen Rand des äußeren Gehörganges und einem Punkt am unteren Rand der Orbita darstellt.

Die zur Untersuchung ausgewählten Schädel wurden auf einen, in allen drei Raumebenen frei bewegbaren 3-D-Panorama-Fluid-Kopf für Fotostative montiert, der sich auf einem Fotostativ befand. Der Fluidkopf erlaubte sagittale und transversale Kippungen sowie Rotationen des Schädels. Die Bewegungen konnten reproduzierbar einzeln je Ebene in ein Grad Schritten durchgeführt werden. Zusätzlich wurde an dem Metallstab, der zur Simulation des Halses diente, ein weiteres Gelenk angebracht, welches die Kippung des Schädels nach Herstellerangaben erlaubte und anhand der Schraubenumdrehungen exakt reproduzierbar war (siehe Tabelle 1).

Für die bei den Programmen 5 und 9 erforderliche Anteriorneigung des Schädels gibt der Hersteller keinen Standardwert an. Es konnte kein Standardwinkel für die verlangte Neigung nach anterior gefunden werden, sondern nur eine individuelle Einstellung für den einzelnen Schädel.

Tab. 1:

<u>Einstellparameter zu Orientierung der Schädel in Idealposition (gemäß Herstellerangaben)</u>	
Programm 4	<ul style="list-style-type: none"> Für die Stirnstütze wird eine Position von 6,0 empfohlen (die am Gerät angewählt werden kann).

	Gerät angewählt werden kann).
Programm 5	<ul style="list-style-type: none">• Die Kopfneigung orientiert sich an der Frankfurter Horizontalen.• Die empfohlene Position der Stirnstütze beträgt 20,0.• Der Schädel wird gegenüber der Frankfurter Horizontalen nach anterior geneigt.• Die Aufnahme erfolgt bei maximaler Mundöffnung.
Programm 8	<ul style="list-style-type: none">• Die empfohlene Position der Stirnstütze beträgt 0,0.• Die Kopfneigung orientiert sich an der Frankfurter Horizontalen.
Programm 9	<ul style="list-style-type: none">• Die empfohlene Position der Stirnstütze beträgt 20,0.• Der Schädel wird gegenüber der Frankfurter Horizontalen nach anterior geneigt.

7.4 Methoden zur Auswertung

7.4.1 Analyse der Condylusdarstellung und der Gelenkspaltbreiten

Um zu analysieren, welche Bereiche des Condylus auf der Schichtaufnahme abgebildet werden, wurde jeder Condylus am lateralen, medialen und posterioren Pol folgendermaßen markiert:

- Am lateralen Pol wurde ein vier Millimeter langer Messingdraht,
- am medialen Pol ein dünner Metallring und
- am posterioren Pol eine Halbkugel aus Metall als Markierung angebracht.

Um den Einfluß von Positionsänderungen des Schädels auf die Darstellung der Condylen im Röntgenbild zu untersuchen, wurden folgende Schädelpositionen eingestellt:

- Idealposition
- Retroklination
- Anteklination
- Linkslaterale Inkliniation
- Linksrotation

Es wurden jeweils Positionsänderungen in ein Grad Schritten bis zu einem Maximum vom drei Grad vorgenommen. Vorversuche hatten ergeben, daß größere Positionsänderungen aus technischen Gründen (abgebildeter Bereich außerhalb der Schnittebene) nicht möglich sind. Alle Einstellungen erfolgten isoliert je Ebene.

7.5 Metrische Analyse der Condylusdarstellung und der Gelenkspaltbreiten

7.5.1 Auswertung sagittaler Darstellungen des Kiefergelenkes (Programme 4 und 8)

7.5.1.1 Condylusformen und Gelenkspaltbeiten

Referenzpunkte und -linien (in der Reihenfolge ihrer Ermittlung)

TF	Tangente an den kranialsten Punkt der F ossa articularis parallel zum Oberrand des Röntgenbildes
TK	Tangente an den kranialsten C ondylenpunkt und parallel zu TF
KP	K ranialster C ondylenpunkt in Bezug auf TF
KP`	Senkrechte Projektion des k ranialsten C ondylus p unktes (KP) auf TF
T_{ant}	Tangente an den a nterioren C ondylenpol durch KP`
T_{pos}	Tangente an den p osterioren C ondylenpol durch KP`
T_{pos2}	Tangente an den p osterioren Punkt des Condylus senkrecht auf TF und TK
M	Condylus m ittelpunkt, als Schnittpunkt der Strecken 1 (Senkrechte zu T _{pos2} in Höhe des Tangentenpunktes am posterioren Condylusrand) und 2 (Senkrechte zu TK durch Kp)

Meßstrecken

Strecke 1	Condylusbreite = maximale Breite des Condylus in Höhe des Punktes M
Strecke 2	Condylushöhe (KP-M) = Abstand des Punktes KP zum Punkt M
Strecke 3	Fossahöhe = Abstand des caudalsten Punktes des Tuberculum articulare zu TF

Strecke 4	kranialer Gelenkspalt (KP-KP')= Abstand des kranialsten Condyluspunktes KP zum Punkt KP'
Strecke 5	anteriöer Gelenkspalt = Abstand des anterioren Condyluspunktes zum Tuberculum articulare = Länge der Senkrechten zu T _{ant}
Strecke 6	posteriöer Gelenkspalt = Abstand des posterioren Condyluspunktes zum Pars tympanica = Länge der Senkrechten zu T _{post}

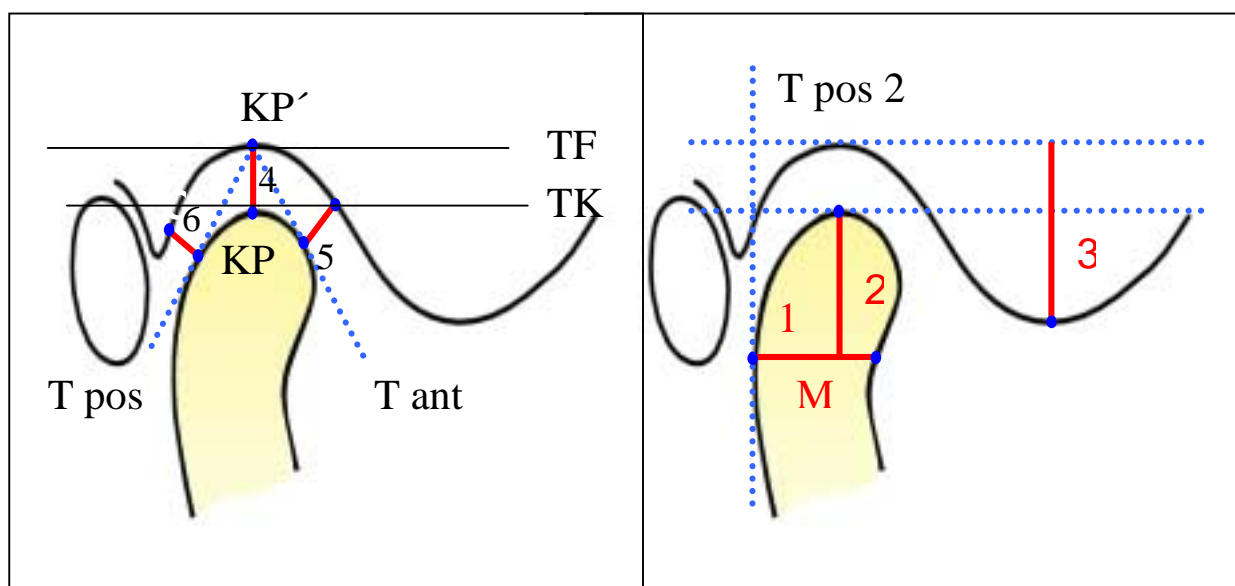


Abb. 12: Meßstrecken der Condylusformen und Gelenkspaltbreiten

7.5.2 Ermittlung von Projektionsänderungen der Condylenmarker (Programm 4)

Referenzpunkte und -linien (in der Reihenfolge ihrer Ermittlung)

TF	Tangente an den kranialsten Punkt der Fossa articularis parallel zum Oberrand
-----------	---

	des Röntgenbildes
H1	Hilfslinie 1: Senkrechte zu TF durch die Spitze des Processus retroauricularis
H1_p	Parallele zu H1 und 1cm dorsal
ML	Mittelpunkt des lateralen Condylenpolmarkers
MM	Mittelpunkt des medialen Condylenpolmarkers
Pa	anteriorer Rand des posterioren Condylenpolmarkers
Pp	posteriorer Rand des posterioren Condylenpolmarkers

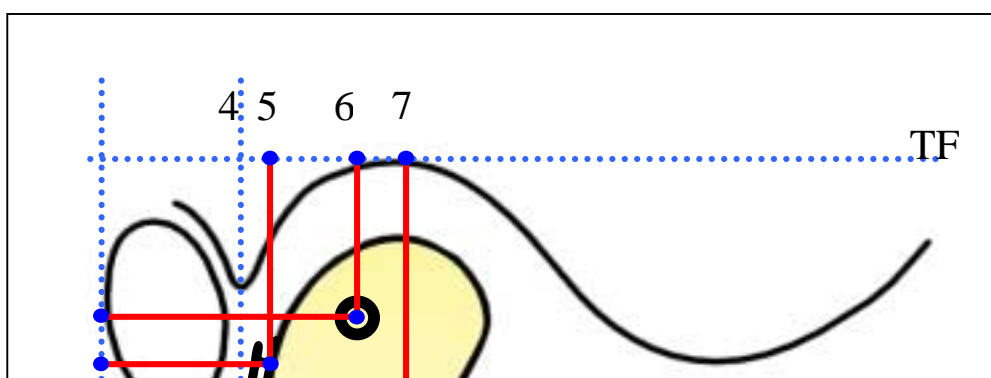
Meßstrecken

a) Sagittale Position der Marker

Strecke 1: MM-H1_p	Abstand des Mittelpunktes des medialen Condylenmarkers (MM) zur Referenzlinie H1_p
Strecke 2: Pp-H1_p	Abstand des posterioren Randes des posterioren Condylenpolmarkers (Pp) zur Referenzlinie H1_p
Strecke 3: ML-H1_p	Abstand des Mittelpunktes des lateralen Condylenmarkers (ML) zur Referenzlinie H1_p

b) Vertikale Position der Marker

Strecke 4: Pp-TF	Abstand des posterioren Randes des posterioren Condylenpolmarkers (Pp) zur Referenzlinie TF
Strecke 5: Pa-TF	Abstand des anterioren Randes des posterioren Condylenpolmarkers (Pa) zur Referenzlinie TF
Strecke 6: MM-TF	Abstand des Mittelpunktes des medialen Condylenmarkers (MM) zur Referenzlinie TF
Strecke 7: ML-TF	Abstand des Mittelpunktes des lateralen Condylenmarkers (ML) zur Referenzlinie TF



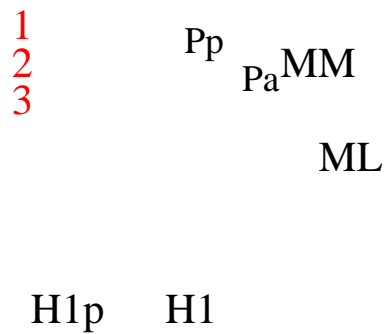


Abb. 13: Meßstrecken der Condylenmarker.

7.5.3 Ermittlung von Projektionsänderungen der Condylenmarker (Programm 8)

Referenzpunkte und -linien

TF	Tangente an die kranialste Fossabegrenzung parallel zum Oberrand des Röntgenbildes
TK	Tangente an den kranialsten Condylenpunkt und parallel zu TF
Kp	Kranialster Condyluspunkt in Bezug auf TF
Kp_s	Senkrechte auf TF durch den kranialsten Condylenpunkt Kp
ML	Mittelpunkt des lateralen Condylenpolmarkers
MM	Mittelpunkt des medialen Condylenpolmarkers
Pa	anterioren Rand des posterioren Condylenpolmarkers
Pp	posteriorer Rand des posterioren Condylenpolmarkers

Meßstrecken

a) Vertikale Position der Marker

Strecke 1: Pp-TK	Abstand des posterioren Randes des posterioren Condylusmarkers zur Referenzlinie TK
-----------------------------------	---

Strecke 2: Pa-TK	Abstand des a nterioren Randes des p osterioren Condylusmarkers zur Referenzlinie TK
Strecke 3: MM-TK	Abstand des M ittelpunktes des m edialen Condylusmarkers zur Referenzlinie TK
Strecke 4: ML-TK	Abstand des M ittelpunktes des l ateralen Condylusmarkers zur Referenzlinie TK

b) Sagittale Position der Marker

Strecke 5: MM-Kp_s	Abstand des M ittelpunktes des m edialen Condylusmarkers zur Referenzlinie - Kp_s
Strecke 6: Pa-Kp_s	Abstand des a nterioren Randes des p osterioren Condylusmarkers zur Referenzlinie Kp_s
Strecke 7: Pp-Kp_s	Abstand des p osterioren Randes des p osterioren Condylusmarkers zur Referenzlinie Kp_s
Strecke 8: ML-Kp_s	Abstand des M ittelpunktes des l ateralen Condylusmarkers zur Referenzlinie Kp_s

Definition der Vorzeichen

-	Bei Lage der Meßpunkte rechts der Tangente Kp_s erhalten die ermittelten Werte ein negatives Vorzeichen
+	Bei Lage der Meßpunkte links der Tangente Kp_s erhalten die ermittelten Werte ein positives Vorzeichen

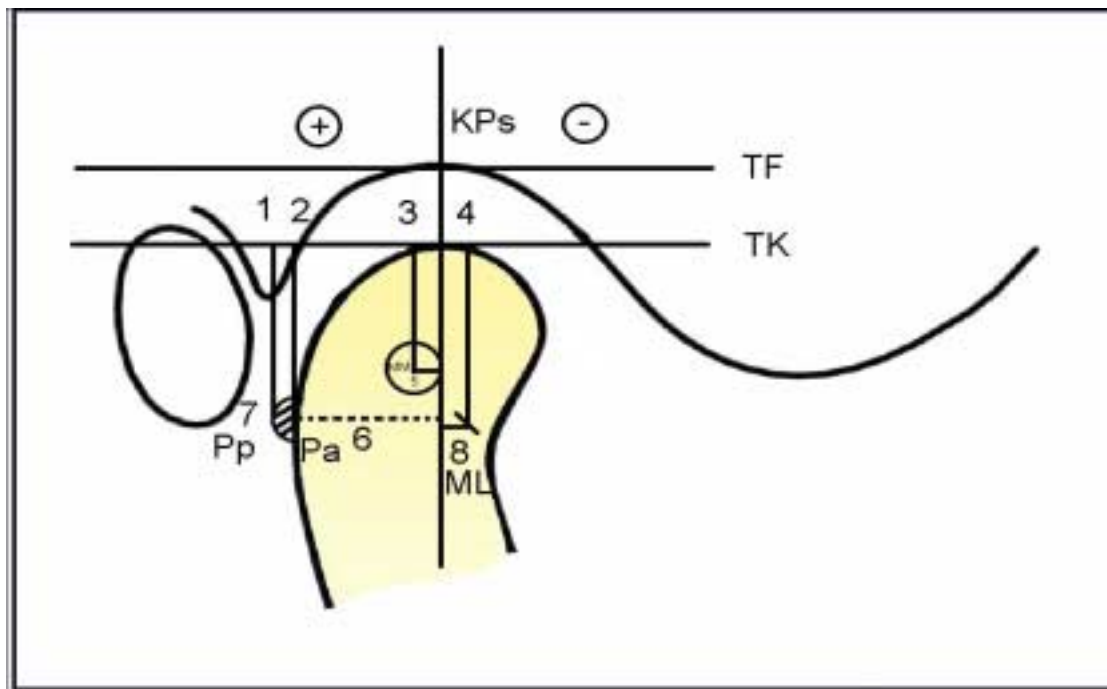


Abb. 14: Meßstrecken der Condylenmarker.

7.5.4 Auswertung frontaler Darstellungen des Kiefergelenkes (Programme 5 und 9)

Bei den Programmen 5 und 9 war es trotz aller Bemühungen nicht möglich, eine exakte metrische Auswertung vorzunehmen, da die knöchernen Strukturen des Condylus und der Fossa articularis nur unzureichend zu erkennen waren. Aus diesem Grund konnten weder Referenzpunkte noch -linien eingezeichnet werden, um eine genaue Bestimmung der Formatveränderungen und der Projektionsänderung der Condylenpolmarker durchzuführen. Infolgedessen erfolgte bei den Aufnahmen der Programme 5 und 9 lediglich eine visuelle Interpretation der Veränderungen.

7.6 Analyse der Fossadarstellung

Um zu analysieren, welche Teile der Fossa articularis auf der Schichtaufnahme abgebildet werden, erfolgte eine Markierung der Gelenkgrube mittels Messingdrähten. Dazu wurde die von medial nach lateral vermessene Fossa in vier gleiche Anteile unterteilt. Anschließend wurden an den so festgelegten Segmentgrenzen, die sich im lateralen, zentralen und medialen Teil der Fossa befanden, drei Messingdrähte angebracht, die jeweils die gesamte anteroposteriore Ausdehnung der Fossa articularis erfaßten.

Die erste Röntgenaufnahme erfolgte mit allen drei Drähten in der Fossa. Anschließend wurde bei jedem Röntgengang jeweils einer der Messingdrähte entfernt und abschließend eine Aufnahme des Schädels ohne Markierung vorgenommen. Durch Superponierung der Röntgenbilder ließ sich feststellen, aus welchen Fossaanteilen die auf dem nativen Röntgenbild dargestellte Fossakontur zusammengesetzt ist.

8. *Methodenfehler*

8.1 Berechnung des Methodenfehlers

Eine Berechnung des Methodenfehlers erfolgte ausschließlich für Programm 4, da wie bereits erwähnt, eine metrische Auswertung der Programme 5, 8 und 9 nicht möglich war (siehe Kap. 10.3). Zur Ermittlung des Methodenfehlers wurden die sechs mazerierten Schädel ein zweites Mal in Idealposition eingestellt und die nachfolgenden Positionsänderungen durchgeführt:

- Anteklation um zwei Grad
- Retroklination um ein Grad
- Linksrotation um zwei Grad
- Linkslaterale Inklination um drei Grad

Der kombinierte Methodenfehler setzt sich aus dem Fehler bei der Einstellung der sechs Schädel und dem Meßfehler bei der Auswertung der Röntgenbilder zusammen und wurde nach folgender Formel (Dahlberg, 1940) berechnet.

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

d = Differenz zwischen den Doppelmessungen

n = Anzahl der Schädel

Der Methodenfehler für die Variablen der Condylusform ist in Tabelle 2 und für die Markerposition in Tabelle 3 wiedergegeben. Der ermittelte mittlere Methodenfehler für die Condylenform und die Gelenkspaltbreite beträgt 0,60mm, für die sagittale und vertikale Markerposition 0,57mm.

Tab. 2: Methodenfehler für die Bestimmung der **Condylenform** und **Gelenkspaltbreite** [mm] des rechten und linken Kiefergelenkes bei Antekliniation (AK), Retrokliniation (RK), linkslateraler Inkliniation (LI), Linksrotation (LR) und Nullstellung (Nst). Die Anzahl der beurteilbaren Schädel (n) ist angegeben.

Positions- änderung	Condylus		Fossa- höhe	Gelenkspaltbreite			n
	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior	
rechts							
AK	0,85	0,59	1,24	0,61	0,54	0,49	5
RK	1,70	0,89	0,71	0,50	0,40	0,32	5
LI	0,67	0,87	0,38	0,52	0,29	0,34	6
LR	0,45	0,46	0,57	0,35	0,63	0,43	6
Nst	1,96	1,82	1,20	0,27	0,47	0,34	6
links							
AK	0,54	0,54	0,47	0,14	0,34	0,42	5
RK	0,95	1,05	1,05	0,43	0,51	0,35	6
LI	0,33	1,03	0,46	0,35	0,23	0,38	6
LR	0,47	0,62	0,77	0,34	0,30	0,45	6
Nst	0,61	0,70	0,39	0,43	0,39	0,52	6

Tab. 3: Methodenfehler für die Bestimmung der Positionsänderung [mm] der lateralen (ML), medialen (MM) und posterioren (Pa,Pp) **Condylenmarker** des rechten und linken Kiefergelenkes bei Anteklation (AK), Retroklination (RK), Linksinklination (LI), Linksrotation (LR) und Nullstellung (Nst). Die Anzahl der beurteilbaren Schädel (n) ist angegeben.

Positions- änderung	Sagittal			Vertikal				n
	MM	Pp	ML	Pp	Pa	MM	ML	
rechts								
AK	0,00	0,72	1,00	0,18	0,22	0,23	0,55	5
RK	0,78	0,47	1,83	0,33	0,32	0,46	0,20	6
LI	0,61	0,42	0,87	0,93	0,72	1,04	0,63	6
LR	0,67	0,65	0,72	0,44	0,25	0,27	0,35	6
Nst	0,59	0,32	0,59	0,32	0,50	0,39	0,21	6
links								
AK	0,41	0,37	0,34	0,29	0,67	0,39	0,41	5
RK	1,89	1,02	0,96	0,44	0,45	1,24	0,38	6
LI	0,93	0,52	0,50	0,39	0,23	0,45	1,39	6
LR	0,91	0,76	0,69	0,24	0,38	0,23	0,32	6
Nst	1,05	0,59	0,92	0,16	0,14	0,66	0,11	6

9. *Statistische Methoden*

Für alle Variablenveränderungen wurden der arithmetrische Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD), der Maximal- (Max) und Minimalwert (Min) berechnet. Zur Überprüfung der Auswirkung der Positionsänderungen wurde der Student t-Test für abhängige Stichproben angewendet. Hierbei kamen folgende Signifikanzniveaus zur Anwendung:

- $p < 0,001$ (***)
- $p < 0,01$ (**)
- $p < 0,05$ (*)
- $p \geq 0,05$ (n.s.) nicht signifikant

Die Berechnungen wurden mit Hilfe eines IBM kompatiblen Personal Computers und dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 97 durchgeführt. Die Auswertungen wurden vom Institut für Medizinische Informatik der Justus-Liebig-Universität Gießen überprüft.

10. Ergebnisse

In dem folgenden Kapitel werden die durch metrische Analyse gewonnenen Ergebnisse der Röntgenprogramme des Röntgengerätes Orthophos CD von Siemens dokumentiert.

10.1 Condylusform, Fossahöhe und Gelenkspaltbreiten (Programm 4)

Es zeigte sich, daß die verschiedenen Positionsänderungen in Abhängigkeit vom Ausmaß unterschiedliche Auswirkungen auf die Darstellung der Condylusmorphologie und der Gelenkspaltbreiten hatten. Während sich eine Linksinklination und eine Linksrotation des Kopfes erwartungsgemäß unterschiedlich auf die Darstellung des rechten und linken Kiefergelenkes auswirkten, zeigten die beiden Kiefergelenke auch bei prinzipiell gleichartiger Positionsänderung (Ante- bzw. Retroklination) teilweise unterschiedliche Formveränderungen.

10.1.1 Condylusform und Fossahöhe

Die Werte für die Condylusform bei unterschiedlicher Einstellung der Schädel sind in Tabelle 4 bis 6 und Abbildung 15a, b dargestellt.

Die geringste Auswirkung auf die Kiefergelenkdarstellung hatte die *Anteklination* mit mittleren Projektionsänderungen der Condylusbreite, Condylushöhe sowie der Fossahöhe im Bereich von -1,00mm bis +0,85mm. Jedoch waren individuelle Größenveränderungen zwischen -4,00mm und +5,00mm zu verzeichnen und im Mittel befanden sich 63% der gemessenen Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von $\pm 0,60\text{mm}$. Statistisch signifikante Veränderungen traten lediglich für die rechte Condylushöhe [MW (1°) = $-0,92\text{mm}^*$] und die linke Fossahöhe [MW (3°) = $+0,80\text{mm}^*$] auf.

Eine *Retroklination* zeigte geringgradige Auswirkungen auf die Darstellung des linken Kiefergelenkes [MW = $-0,33\text{mm}$ bis $+0,76\text{mm}$], während für das rechte Kiefergelenk mittlere Projektionsänderungen von $-0,76\text{mm}$ bis $+2,16\text{mm}$ zu

verzeichnen waren. Am stärksten betroffen war dabei die Darstellung der Condylusbreite [MW (2°)= +2,16mm]. Die individuellen Veränderungen schwankten zwischen -6,40mm bis +8,00mm. Bei der Retroklination befanden sich von den ausgewerteten Strecken im Mittel 66% außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für die rechte Condylusbreite [MW (3°)= +1,30mm*].

Eine *Linksinklination* beeinflusste die Darstellung des linken Kiefergelenkes nur mäßig [MW = -1,50mm bis +0,41mm]. Für das rechte Kiefergelenk hatte eine Linksinklination dagegen mittlere Projektionsänderungen von -0,70mm bis +3,00mm zur Folge. Am stärksten wurde wiederum die Darstellung der Condylusbreite beeinflusst [MW (2°)= +3,00mm und MW (3°)= +3,00mm]. Es waren individuelle Größenveränderungen von -5,50mm bis +10,00mm zu verzeichnen. Im Mittel lagen 59% der ermittelten Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,60mm. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für die linke Condylusbreite [MW (1°)= -0,83mm*, MW (2°)= -1,16mm*** und MW (3°)= -1,50mm***].

Eine *Linksrotation* bewirkte im linken Kiefergelenk mittlere Projektionsveränderungen von -0,83mm bis +0,75mm, während für das rechte Kiefergelenk Veränderungen von -0,80mm bis +1,75mm zu dokumentieren waren. Am stärksten betroffen war dabei die Darstellung der rechten Fossahöhe [MW (2°)= -0,80mm] und der rechten Condylusbreite [MW (3°)= +1,75mm]. Bei der Linksrotation waren im Mittel 52% der ermittelten Streckenwerte außerhalb des mittleren Methodenfehlers von +/-0,60mm. Die individuellen Veränderungen schwankten zwischen -5,50mm und +7,00mm, waren jedoch in keinem Fall signifikant.

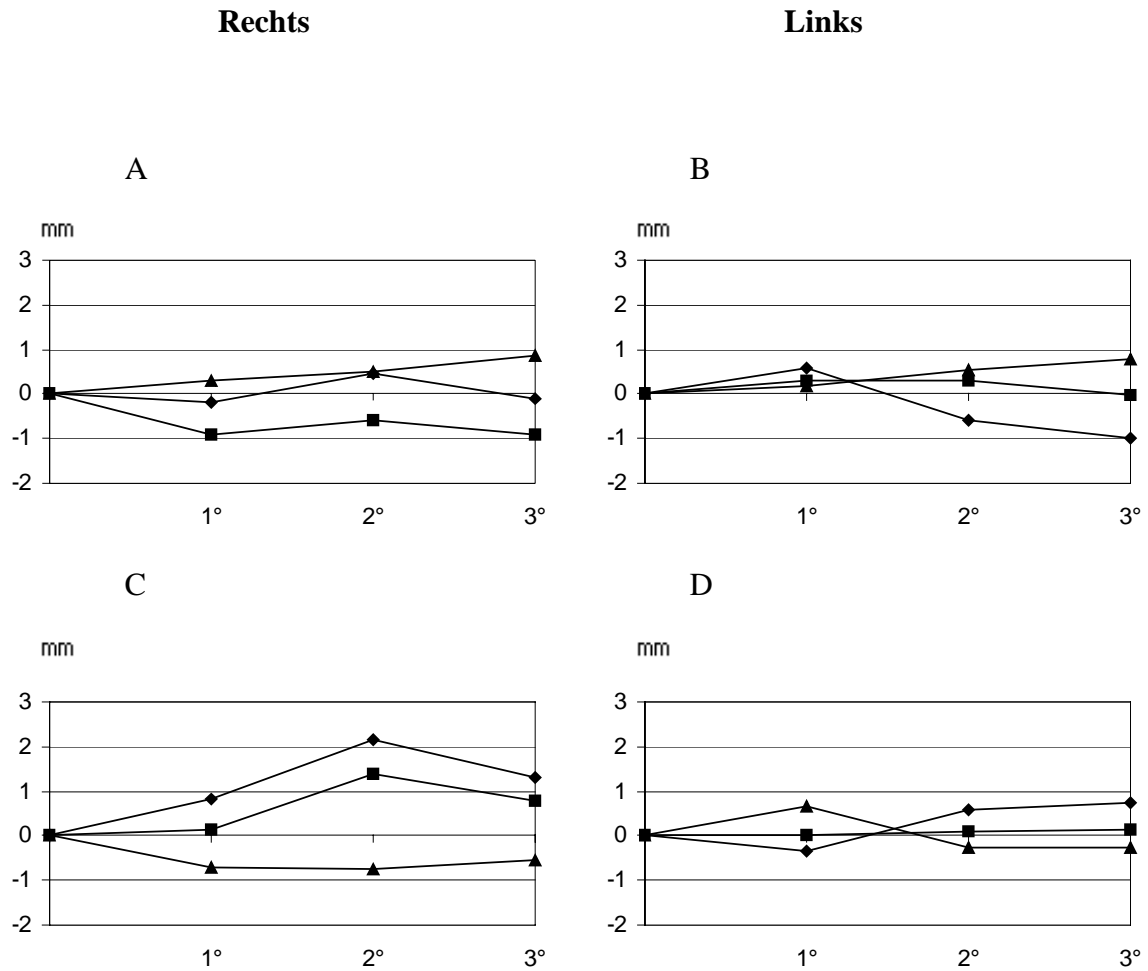


Abb. 15a: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der Condylusbreite (◆), Condylushöhe (■) und Fossahöhe (▲) bei Anteklinationsstellung (A,B) und Retroklinationsstellung (C,D) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen für das rechte und linke Kiefergelenk sind getrennt dargestellt.

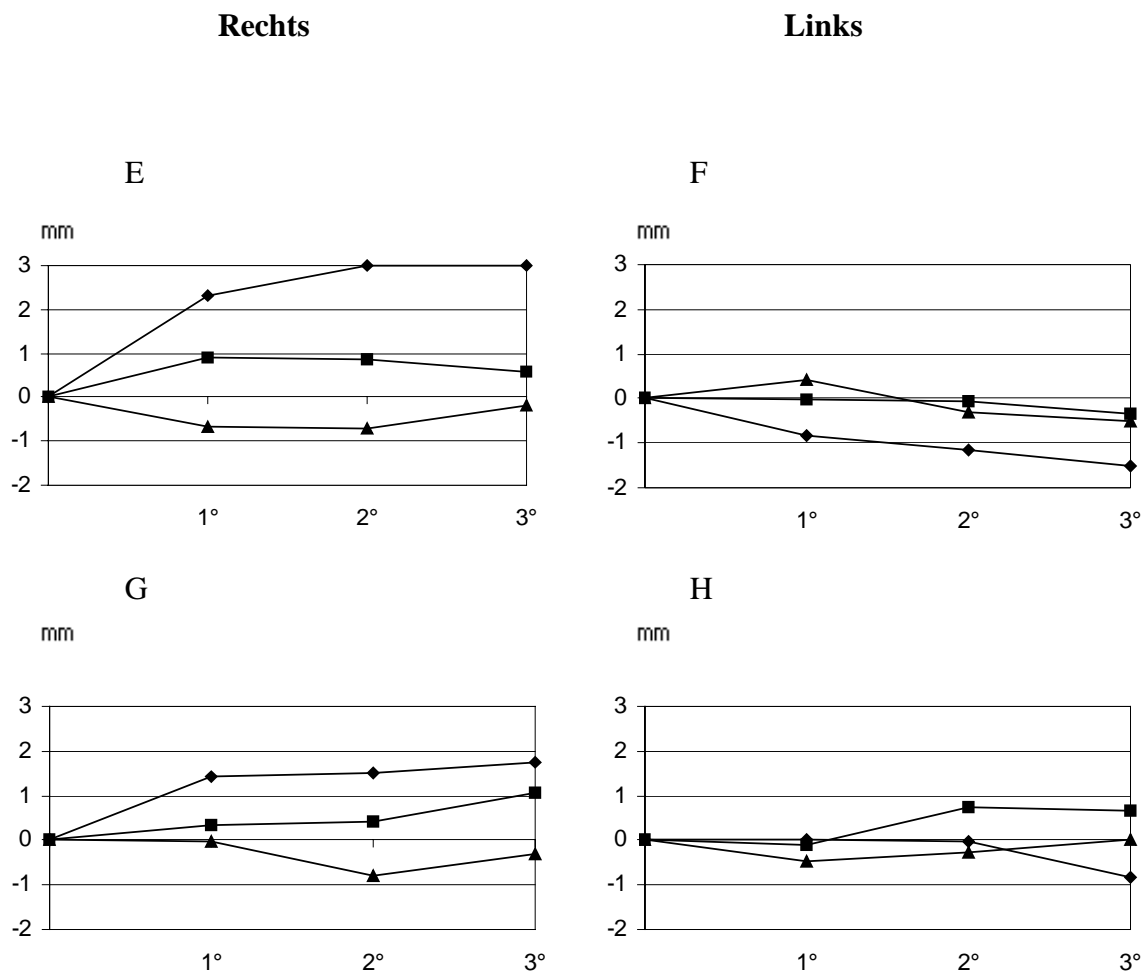


Abb. 15b: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der Condylusbreite (◆), Condylushöhe (■) und Fossahöhe (▲) bei Linksinklination (E,F) und Linksrotation (G,H) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen für das rechte und linke Kiefergelenk sind getrennt dargestellt.

10.1.2 Gelenkspaltbreiten

Die Werte für die Gelenkspaltbreiten bei unterschiedlicher Einstellung der Schädel sind in Tabelle 7 bis 9 und Abbildung 16a, b dargestellt.

Sowohl eine *Anteklation* als auch eine *Retroklination* veränderte die Größe der Gelenkspaltbreiten des rechten [MW= -0,26mm bis +0,73mm] und des linken [MW= -0,33 bis +0,44mm] Kiefergelenkes nur geringgradig und nicht signifikant. Am stärksten betroffen waren dabei die Darstellungen des kranialen Gelenkspalten des rechten [MW (3°)= +0,73mm] und des linken [MW (3°)= -0,33mm] Kiefergelenks bei Anteklation. Es waren individuelle Größenveränderungen zwischen -2,20mm und +2,10mm zu verzeichnen. Bei der Anteklation waren im Mittel 39% und bei der Retroklination 31% der ermittelten Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,60mm.

Eine *Linksinklination* und eine *Linksrotation* hatten ebenfalls nur geringe Auswirkungen auf die Größe der Gelenkspalten des linken Kiefergelenkes [MW= -0,60mm bis +0,36mm]. Beim rechten Kiefergelenk traten dagegen mittlere Gelenkspaltveränderungen von -0,60mm bis +1,00mm auf. Die größten Breitenveränderungen zeigte jeweils der anteriore Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes, der im Durchschnitt bis zu 1mm breiter dargestellt wurde [MW (3°)= +0,91mm bzw. +1,00mm]. Die individuellen Veränderungen schwankten zwischen -3,00mm bis +3,10mm. Sowohl bei der Linksinklination, als auch bei der Linksrotation befanden sich im Mittel 33% der ermittelten Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,60mm. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für den posterioren Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes bei Linksinklination [MW (3°)= +0,53mm] und des kranialen Gelenkspaltes des rechten Kiefergelenkes [MW (3°)= +0,60mm] bei Linksrotation.

[illegible]

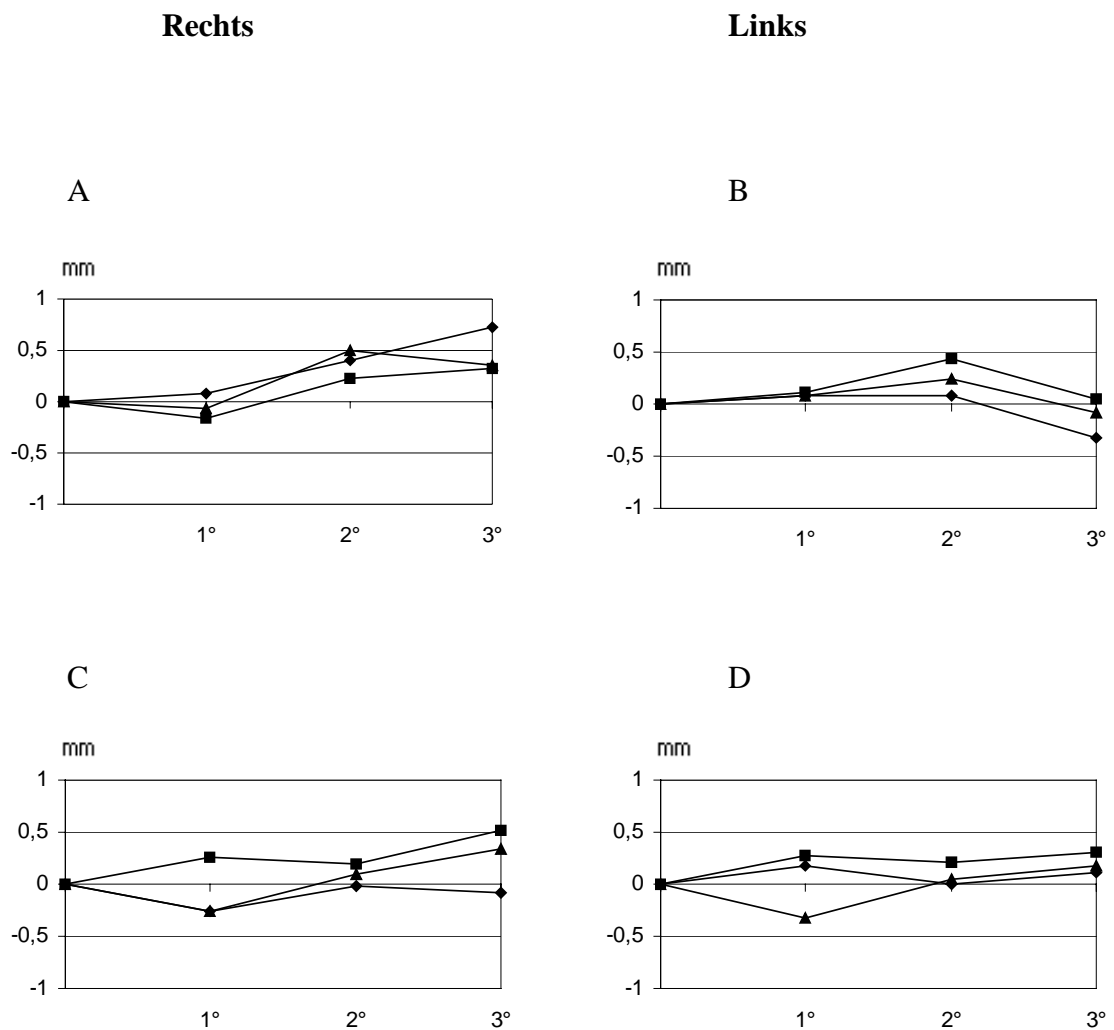


Abb. 16a: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der kranialen (◆), anteriorer (■) und posterioren (▲) Gelenkspaltbreiten des rechten und linken Kiefergelenkes bei Anteklinations (A,B) und Retroklinations (C,D) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen sind für das rechte und linke Kiefergelenk getrennt dargestellt.

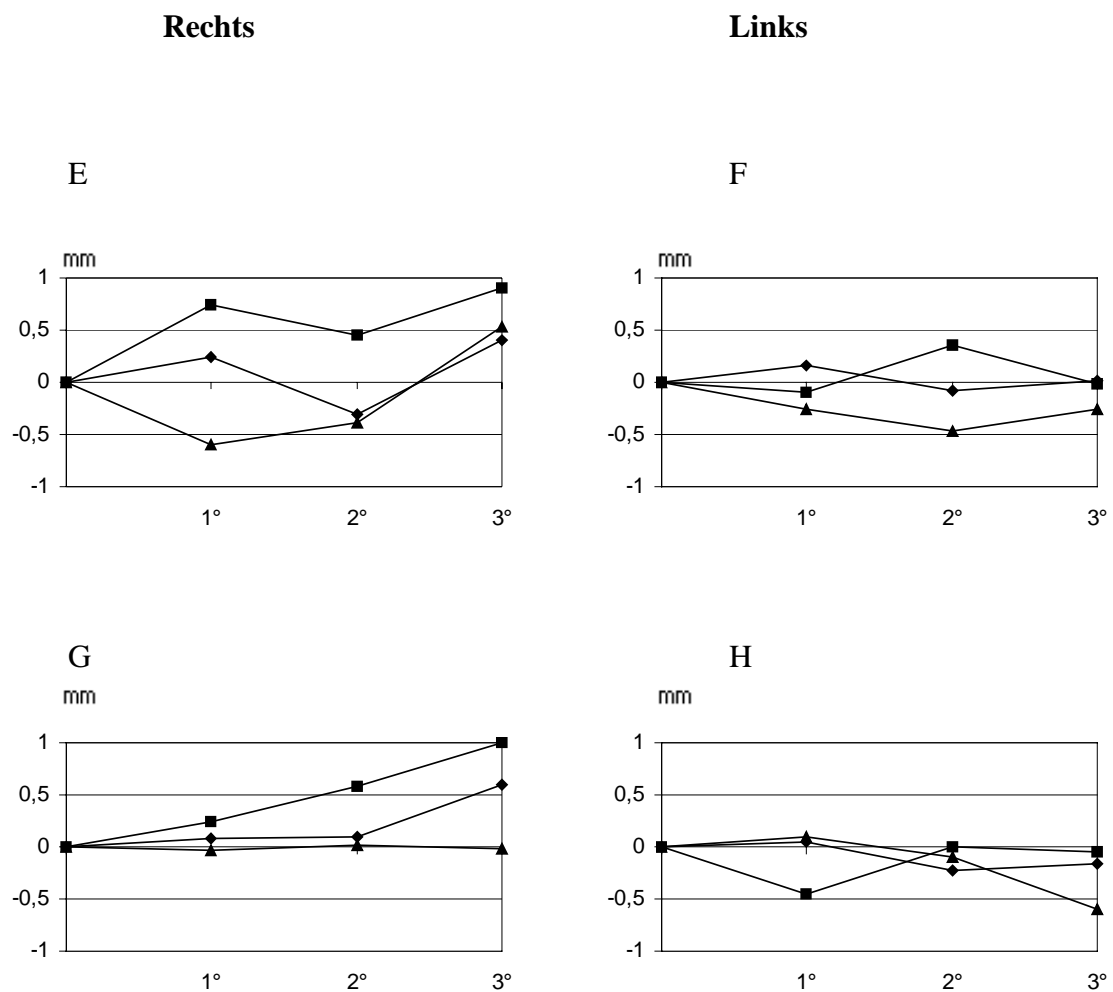


Abb. 16b: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der kranialen (◆), anteriorer (■) und posterioren (▲) Gelenkspaltbreiten des rechten und linken Kiefergelenkes bei Linksinklination (E,F) und Linksrotation (G,H) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen sind für das rechte und linke Kiefergelenk getrennt dargestellt.

10.2 Ergebnisse der Auswertung der Markerpositionen (Programm 4)

Es zeigte sich, daß die verschiedenen Positionsänderungen in Abhängigkeit vom Ausmaß unterschiedliche Auswirkungen auf die Darstellung der sagittalen und vertikalen Condylenpolmarker hatten. Die Positionsänderungen bewirkten symmetrische Veränderungen bei der Darstellung der rechten und linken sagittalen Condylenpolmarker, während die Positionsänderungen bei den vertikalen Condylenpolmarkern des rechten und linken Kiefergelenks teilweise unterschiedliche Auswirkungen zur Folge hatten.

10.2.1 Sagittale Markerposition

Die Werte für die sagittalen Markerpositionen bei unterschiedlicher Einstellung der Schädel sind in Tabelle 10 bis 12 und in Abbildung 17a, b dargestellt.

Eine *Anteklination* hatte eine weitgehend symmetrische Auswirkung auf die Darstellung der sagittalen Condylenpolmarker des rechten und linken Kiefergelenks. Die mittleren Projektionsänderungen der Condylenpolmarker wiesen für den medialen Condylenpol Werte von +0,25mm bis +1,36mm, für den posterioren von -0,62mm bis +0,68mm und für den lateralen von -2,30mm bis -1,20mm auf. Der mediale Condylenpolmarker wurde beidseitig mit fortschreitender Anteklination anteriorer in bezug auf die Idealposition abgebildet. Die maximale mittlere Projektionsänderung ergab sich bei drei Grad Anteklination mit +1,36mm für das rechte und mit +0,81mm für das linke Kiefergelenk. Der laterale Condylenpolmarker wurde sowohl im rechten Kiefergelenk [MW (3°)= -1,48mm], als auch im linken Kiefergelenk [MW (3°)= -2,30mm] posteriorer in bezug auf die Idealposition abgebildet. Der posteriore Condylenpolmarker hingegen erfuhr durch eine Anteklination im Mittel nur geringe Projektionsänderungen. Es waren individuelle Projektionsänderung von -7,00mm bis +4,00mm zu dokumentieren. Bei der Anteklination konnte festgestellt werden, daß sich im Mittel 52% der Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,57mm befanden. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für den medialen [MW (3°)= +0,81mm*] und für den lateralen [MW (2°)= -1,30mm*] Condylenpolmarker des linken Kiefergelenks.

Eine *Retroklination* hatte ebenfalls eine vergleichbare Auswirkung auf die Darstellung der sagittalen Condylenpolmarker des rechten und linken Kiefergelenks. Dabei konnten mittlere Projektionsänderungen für den medialen Condylenpolmarker von -1,58mm bis -0,26mm, für den posterioren Condylenpolmarker von -0,91mm bis +1,28mm und für den lateralen Condylenpolmarker von -1,16mm bis +2,25mm dokumentiert werden. Der laterale Condylenpolmarker wurde mit fortschreitender Retroklination sowohl rechtsseitig [MW (3°)= +1,90mm], als auch linksseitig [MW (3°)= +2,25mm] weiter anterior der Idealposition dargestellt. Der mediale Condylenpolmarker wurde dagegen beidseitig posterior der Idealposition projiziert; rechts [MW (3°)= -1,10mm] und links [MW (3°)= -1,58mm]. Der posteriore Condylenpolmarker wurde beidseitig rechts [MW (3°)= +0,50mm] und links [MW (3°)= +1,28mm] anterior in bezug auf die Idealposition projiziert. Die individuellen Veränderungen schwankten zwischen -8,00mm und +3,00mm. Im Mittel lagen 66% der Streckenwerte bei der Retroklination außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von $\pm 0,57$ mm. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für den medialen [MW (2°)= +0,91mm**] und posterioren [MW (3°)= +1,28mm**] Condylenpolmarker des linken Kiefergelenks, sowie für den lateralen Condylenpolmarker des rechten [MW (2°)= +1,38mm* und MW (3°)= +1,90mm**] und des linken [MW (2°)= +1,11mm* und MW (3°)= +2,25mm***] Kiefergelenks.

Eine *Linksinklination* wirkte sich auf beide Kiefergelenke unterschiedlich aus. Während die sagittalen Condylenmarker im rechten Kiefergelenk tendenziell anteriorer in bezug auf die Idealposition projiziert wurden, ergab sich im linken Kiefergelenk eine posteriorere Darstellung. Die mittleren Projektionsänderungen im Bereich des rechten Kiefergelenks hatten für die einzelnen Condylenpolmarker folgende Werte: medialer Condylenpolmarker [MW= -0,16mm bis +0,90mm], posteriorer Condylenpolmarker [MW= -0,48mm bis +0,41mm], lateraler Condylenpolmarker [MW= +0,36mm bis +1,40mm]. Für das linke Kiefergelenk konnten für den medialen Condylenpolmarker mittlere Projektionsänderungen von -1,33mm bis -0,58mm, für den posterioren von -0,65mm bis -0,33mm und für den lateralen Condylenpolmarker von -1,75mm bis -1,25mm dokumentiert werden. Es waren individuelle Größenveränderungen von -4,80mm bis +5,00mm zu verzeichnen. Bei der Linksinklination befanden sich im Mittel 62% der Werte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von $\pm 0,57$ mm. Statistisch signifikante

Veränderungen konnten für den lateralen Condylenpolmarker des rechten Kiefergelenks [MW (2°)= +1,40mm*] und des linken Kiefergelenks [MW (2°)= -1,14mm* und MW (3°)= -1,25mm**] dokumentiert werden.

Eine *Linksrotation* hatte im Mittel nur eine geringe Auswirkung auf die Darstellung der sagittalen Condylenpolmarker des rechten und linken Kiefergelenks. Im rechten Kiefergelenk wurden für den medialen Condylenpolmarker mittlere Projektionsänderungen von -0,41mm bis +0,33mm, für den posterioren Condylenpolmarker von +0,16mm bis +0,41mm und für den lateralen Condylenpolmarker von +0,08 bis +0,75mm festgestellt. Tendenziell zeigte sich hier, wie schon bei der Linksinklination eine anteriorere Projektion der Marker. Im Bereich des linken Kiefergelenks wurden für den medialen Condylenpolmarker mittlere Dimensionsänderungen von -1,00mm bis +0,50mm, für den posterioren -0,25mm bis +0,21mm und für den lateralen Condylenpolmarker von -0,41mm bis +0,25mm dokumentiert. Es war keine einheitliche Tendenz für die Projektionsänderung zu verzeichnen. Es konnten individuelle Größenveränderungen von -5,00mm bis +5,50mm verzeichnet werden. Im Mittel lagen 28% der Werte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,57mm. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich nur für den lateralen Condylenpolmarker des rechten Kiefergelenks [MW (2°)= +0,83mm*].

[illegible]

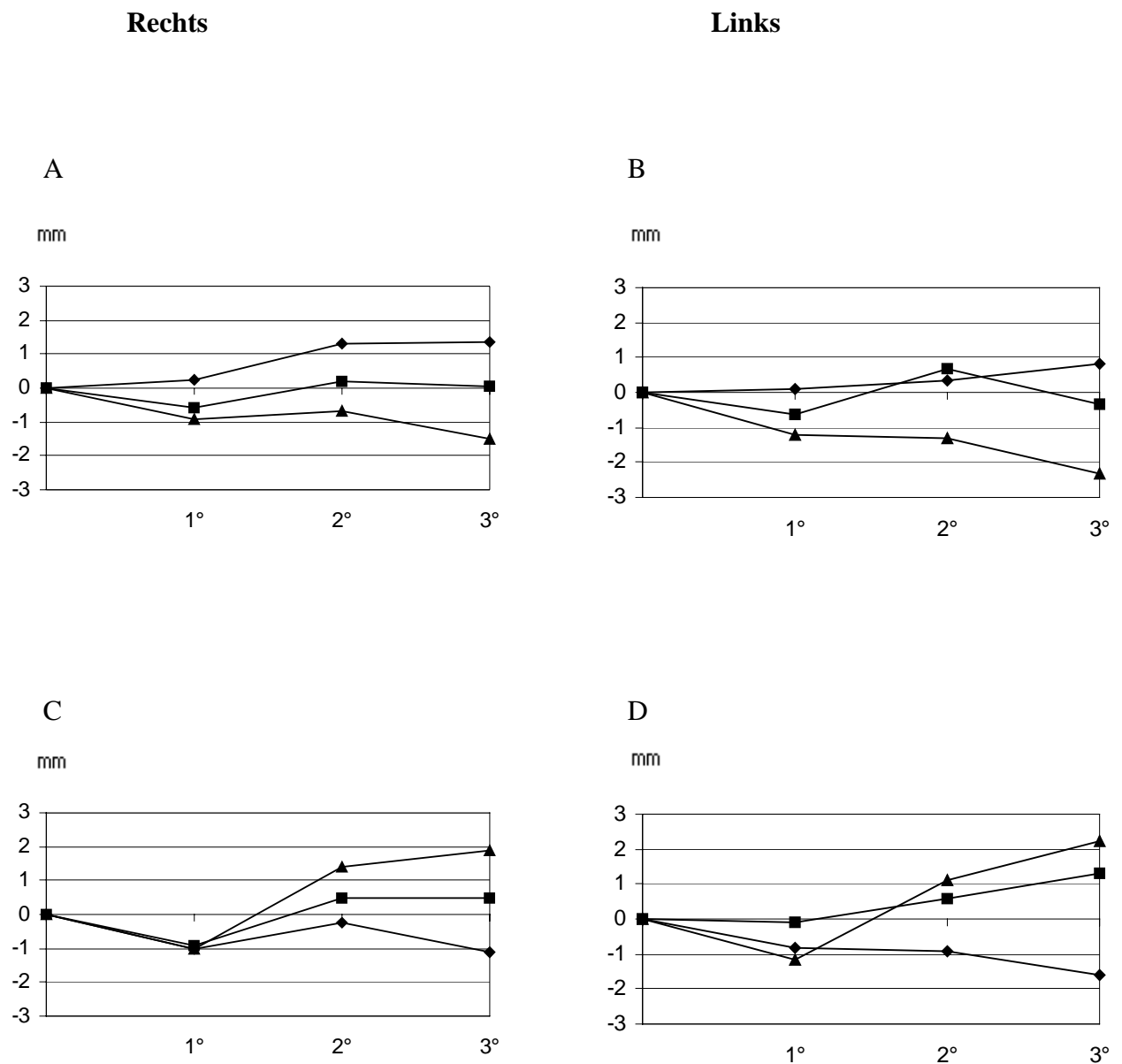


Abb. 17a: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der sagittalen Position des medialen (◆), posterioren (■) und lateralen (▲) Condylenpolmarkers des rechten und linken Kiefergelenkes bei Anteclinination (A,B) und Retroclinination (C,D) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen sind für das rechte und linke Kiefergelenks getrennt dargestellt.

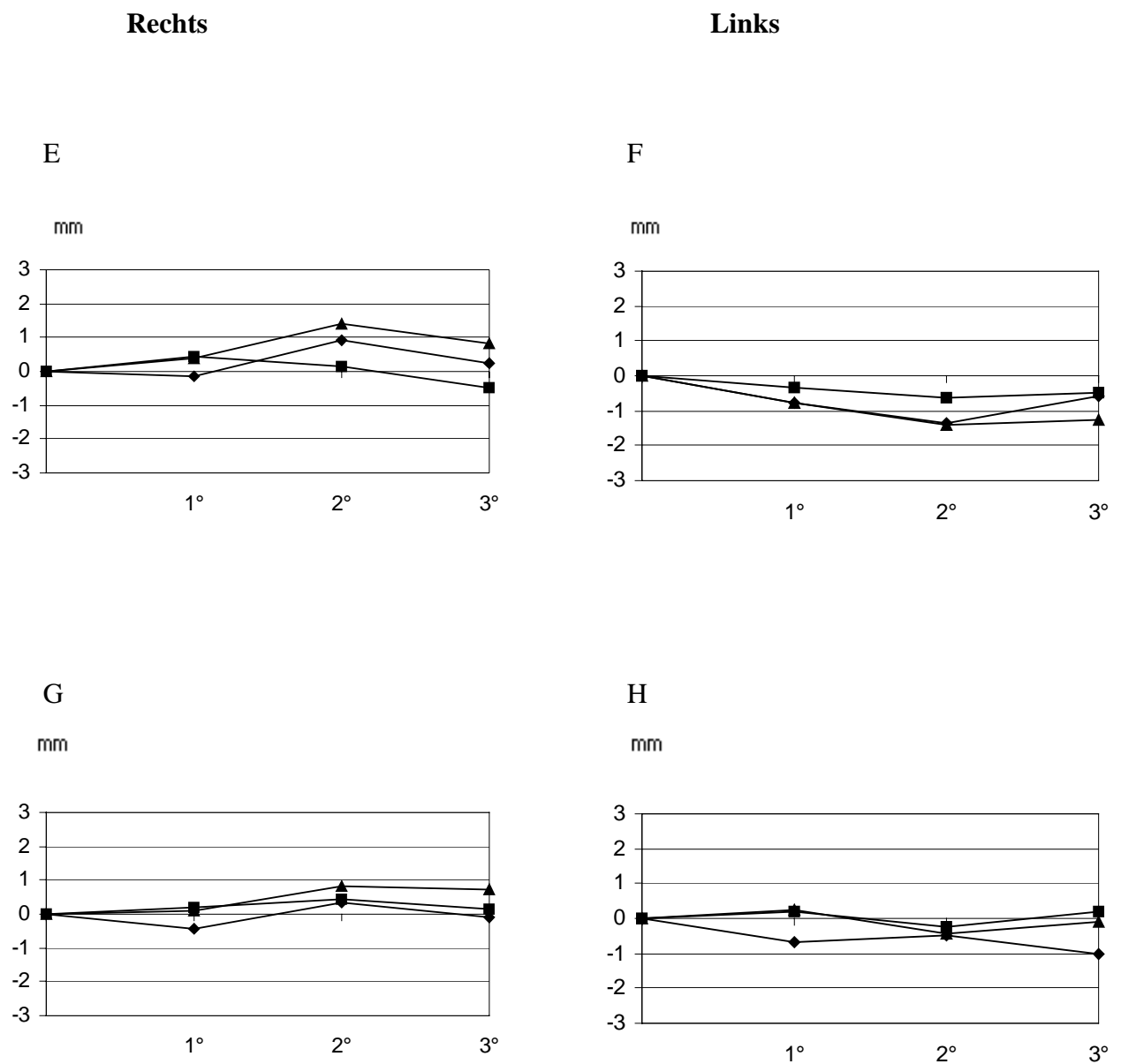


Abb. 17b: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der sagittalen Position des medialen (◆), posterioren (■) und lateralen (▲) Condylenpolmarkers des rechten und linken Kiefergelenkes bei Linksinklination (E,F) und Linksrotation (G,H) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen sind für das rechte und linke Kiefergelenks getrennt dargestellt.

10.2.2 Vertikale Markerposition

Die Werte für die vertikale Markerpositionen bei unterschiedlicher Einstellung der Schädel sind in Tabelle 13 bis 16 und in Abbildung 18a, b dargestellt.

Eine *Anteklinat*ion hatte auf die Darstellung des rechten und linken Kiefergelenks unterschiedliche Auswirkungen. Im Bereich des rechten Kiefergelenks wurden die Condylenpolmarker tendenziell kaudaler als bei der Idealposition projiziert, wodurch die gemessenen Strecken im Röntgenbild länger erscheinen. Die mittleren Projektionsänderungen im Bereich des rechten Kiefergelenks hatten für den posterioren Condylenpolmarker Werte von -0,15mm bis +0,30mm, für den anterioren Rand des posterioren Condylenpolmarker Werte von -0,36mm bis 0,08mm, für den medialen Condylenpolmarker Werte von -0,38mm bis +0,21mm und für den lateralen Condylenpolmarker Werte von +0,05mm bis +0,88mm. Die vertikalen Condylenpolmarker im linken Kiefergelenk wurden mit zunehmender Anteklinat

ion kranialer (Abnahme der Meßstrecke) im Vergleich zur Idealposition projiziert. Es ergaben sich folgende mittlere Projektionsänderungen: posteriorer Condylenpolmarker [MW= -1,11mm bis -0,57mm], anteriorer Rand des posterioren Condylenpolmarkers [MW= -0,58mm bis -0,30mm], medialer Condylenpolmarker [MW= -0,71mm bis +0,10mm] und lateraler Condylenpolmarker [MW= -0,34mm bis +0,04mm]. Am stärksten beeinflusste eine Anteklinat

ion im rechten Kiefergelenk die Abbildung des lateralen Condylenpolmarker des [MW (3°)= +0,88mm], der kaudal der Idealposition projiziert wurde und im linken Kiefergelenk die des posterioren Condylenpolmarkers, der kranial gegenüber der Idealposition [MW (3°)= +1,11mm] abgebildet wurde. Die individuellen Projektionsänderungen schwankten zwischen -3,50mm und +2,80mm. Im Mittel befanden sich 66% der gemessenen Streckenwert außerhalb des mittleren Methodenfehlers von +/-0,57mm. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich lediglich für den lateralen Condylenpolmarker des rechten Kiefergelenks [MW (2°)= +0,84mm*].

Eine *Retroklinat*ion hatte nur geringe Auswirkungen auf die Darstellung der vertikalen Condylenpolmarker des rechten und Kiefergelenks. Die mittleren Projektionsänderungen der Condylenpolmarker des rechten Kiefergelenks schwankten im Bereich des posterioren Condylenpolmarkers zwischen -0,13mm und +0,06mm,

des anterioren Randes des posterioren Condylenpolmarkers zwischen -0,33mm und -0,10mm, des medialen Condylenpolmarker zwischen -0,50mm und -0,40mm und des lateralen Condylenpolmarkers zwischen -0,36mm und -0,21mm. Für das linke Kiefergelenk war mit Ausnahme der Ausreißer (lateral Marker [MW (2°)= +0,76mm] und der posteriorer Rand des posterioren Markers [MW(2°)= +0,46mm]) bei zwei Grad Retroklination ebenfalls nur geringe Veränderungen zu verzeichnen. Es konnten folgende mittleren Dimensionsänderungen dokumentiert werden: Posteriorer Condylenpolmarker [MW= -0,48mm bis +0,46mm], anteriorer Rand des posterioren Condylenpolmarker [MW= -0,50mm bis -0,25mm], medialer Condylenpolmarker [MW= -0,63mm bis -0,08mm], lateraler Condylenpolmarker [MW= -0,31mm bis +0,76mm]. Die individuelle Projektionsänderungen schwankten zwischen -7,00mm und +5,20mm. Im Mittel befanden sich 53% der gemessenen Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,57mm. Statistisch signifikante Veränderungen konnten für den medialen Condylenpolmarker des rechten Kiefergelenks [MW (1°)= -0,43mm* und MW (3°)= -0,50mm*] dokumentiert werden.

Eine *Linksinklination* zeigte unterschiedliche Auswirkungen auf die Darstellung der vertikalen Condylenpolmarker beider Kiefergelenke. Im rechten Kiefergelenk schwanken die Meßstrecken mit Ausnahme des medialen Condylenpolmarker [MW= +0,17mm bis +0,71mm] nur geringgradig um den Wert bei der Idealposition. Die mittleren Projektionsänderungen betrugen: posteriorer [MW= +0,01mm bis +0,32mm] Marker, anterioren Randes des posterioren [MW= -0,20mm bis +0,10mm] Markers und lateraler [MW= -0,23mm bis +0,26mm] Marker. Im linken Kiefergelenk zeigten sich hingegen deutliche Projektionsänderungen. Der posteriore [MW= -1,23mm bis -0,55mm], der anteriore Rand des posterioren [MW= -0,73mm bis -0,48mm] und der mediale [MW= -1,26mm bis -0,66mm] Condylenpolmarker erfuhren eine Abbildung weiter kranial in bezug auf die Idealposition. Der laterale [MW= -0,21mm bis +0,61mm] Condylenpolmarker wurde bei einer Projektionsänderung von drei Grad weiter kaudal der Idealposition abgebildet. Die individuellen Veränderungen schwankten zwischen -3,60mm und +3,40mm. Im Mittel lagen 62% der ermittelten Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,57mm.

Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für den medialen Condylenpolmarker des rechten Kiefergelenks [MW (2°)= +0,65mm* und MW (3°)= +0,71mm**].

Eine *Linksrotation* hatte eine geringere Auswirkung auf die Darstellung der Condylenpolmarker im rechten als im linken Kiefergelenk. Die mittleren Projektionsänderungen des posterioren [MW= -0,58mm bis -0,25mm] Condylenpolmarkers, des anterioren Randes des posterioren [MW= -0,63mm bis -0,41mm] Condylenpolmarkers, des medialen [MW= -0,67mm bis -0,48mm] und des lateralen [MW= -0,63mm bis -0,13mm] Condylenpolmarkers wichen im rechten Kiefergelenk nur wenig von den Werten der Idealposition ab. Die größte mittlere Projektionsänderung ergab bei drei Grad Linksrotation mit einer kranialen Projektion von -0,67mm für den medialen Condylenpolmarker. Im linken Kiefergelenk waren stärkere Projektionsänderungen in kranialer Richtung zu verzeichnen: posteriorer Condylenpolmarker [MW= -1,01mm bis -0,66mm], anteriorer Rand des posterioren Condylenpolmarkers [MW= -0,61mm bis -0,50mm], medialer Condylenpolmarker [MW= -0,88mm bis +0,16mm] und lateraler Condylenpolmarker [MW= -0,60mm bis -0,43mm]. Die individuellen Größenveränderungen schwankten zwischen -3,50mm und +5,00mm. Im Mittel lagen 45% der gemessenen Streckenwerte außerhalb der Grenzen des mittleren Methodenfehlers von +/-0,57mm. Statistisch signifikante Veränderungen ergaben sich für den anterioren Condylenpolmarker [MW (1°)= -0,61mm*], den medialen Condylenpolmarker [MW (1°)= -0,58mm*] und den lateralen Condylenpolmarker [MW (1°)= -0,63mm*] des rechten Kiefergelenks.

[illegible]

[illegible]

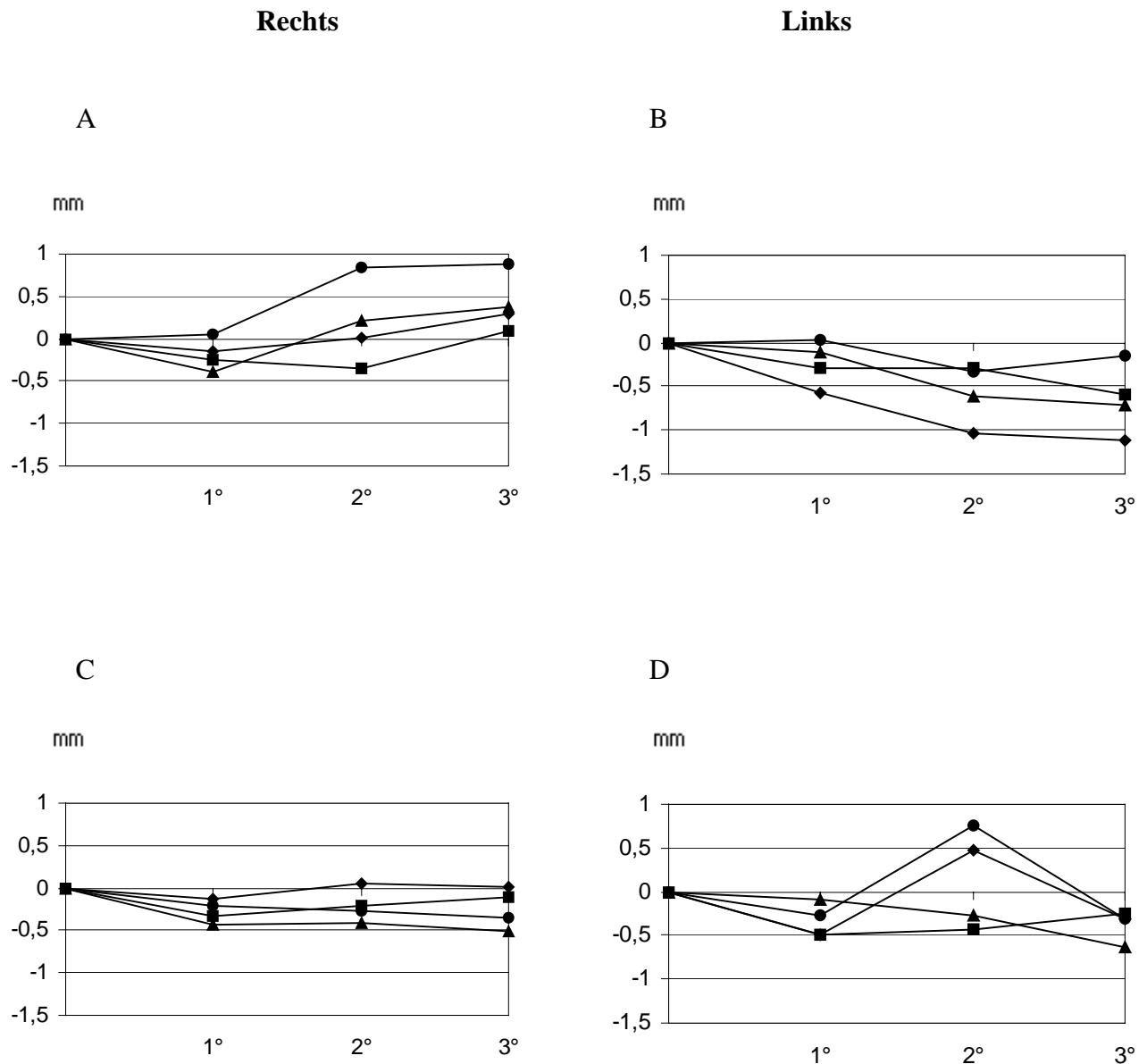


Abb. 18a: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der vertikalen Position des anterioren Randes des posterioren Markers (■), des medialen Markermittelpunktes (▲), des lateralen Markermittelpunktes (●) und des posterioren Randes des posterioren Markers (◆) des rechten und linken Kiefergelenkes bei Antekliniation (A,B) und Retrokliniation (C,D) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen sind für das rechte und linke Kiefergelenk getrennt dargestellt.

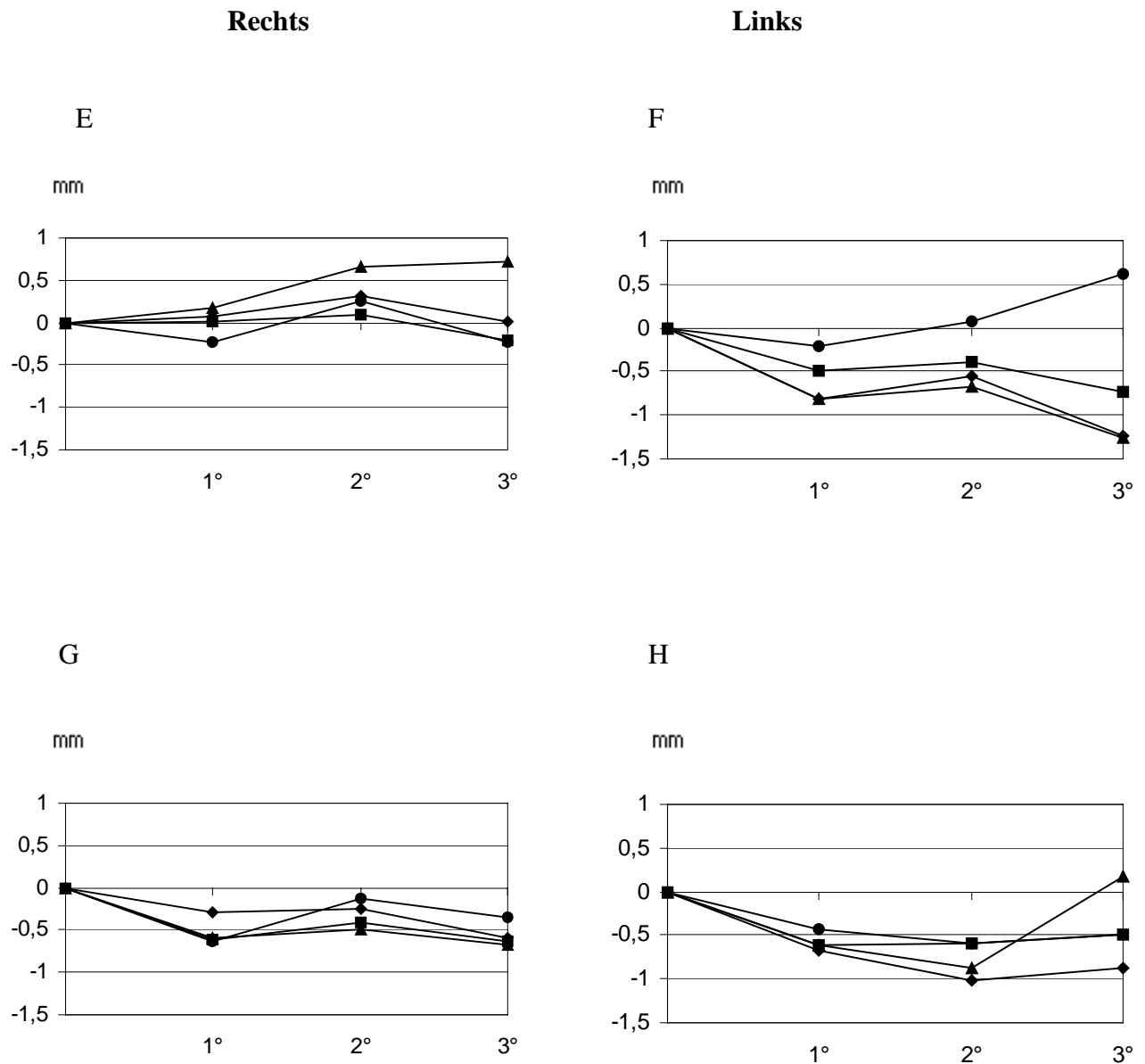


Abb. 18a: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD (Siemens). Mittelwertveränderungen [mm] der vertikalen Position des anterioren Randes des posterioren Markers (■), des medialen Markermittelpunktes (▲), des lateralen Markermittelpunktes (●) und des posterioren Randes des posterioren Markers (◆) des rechten und linken Kiefergelenkes bei Linksinklination (E,F) und Linksrotation (G,H) in ein Grad Schritten. Die Veränderungen sind für das rechte und linke Kiefergelenk getrennt dargestellt.

10.3 Ergebnisse der Röntgenprogramme P5, P8 und P9

Die sechs mazerierten Schädel wurden wie in den Herstellerangaben beschrieben montiert und Positionsänderungen bis drei Grad in jeder Raumebene vorgenommen. Es zeigte sich, daß eine metrische Auswertung nicht durchgeführt werden konnte, da die abgebildeten Strukturen nur unscharf oder verzerrt dargestellt wurden, so daß die Referenzpunkte nicht exakt lokalisierbar waren (siehe Abbildungen 19a, b bis 21a, b).



Abb. 19a: P5 in Idealposition

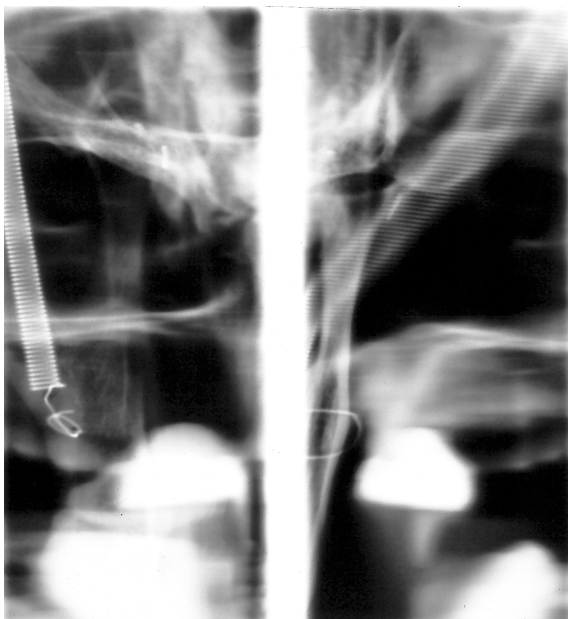


Abb. 19b: P5 1° linksinkliniert

Desweiteren waren bei allen drei Programmen bereits bei Positionsänderungen von einem Grad die zu untersuchenden Strukturen zum Teil nicht mehr auf dem angefertigten Röntgenbild abgebildet.

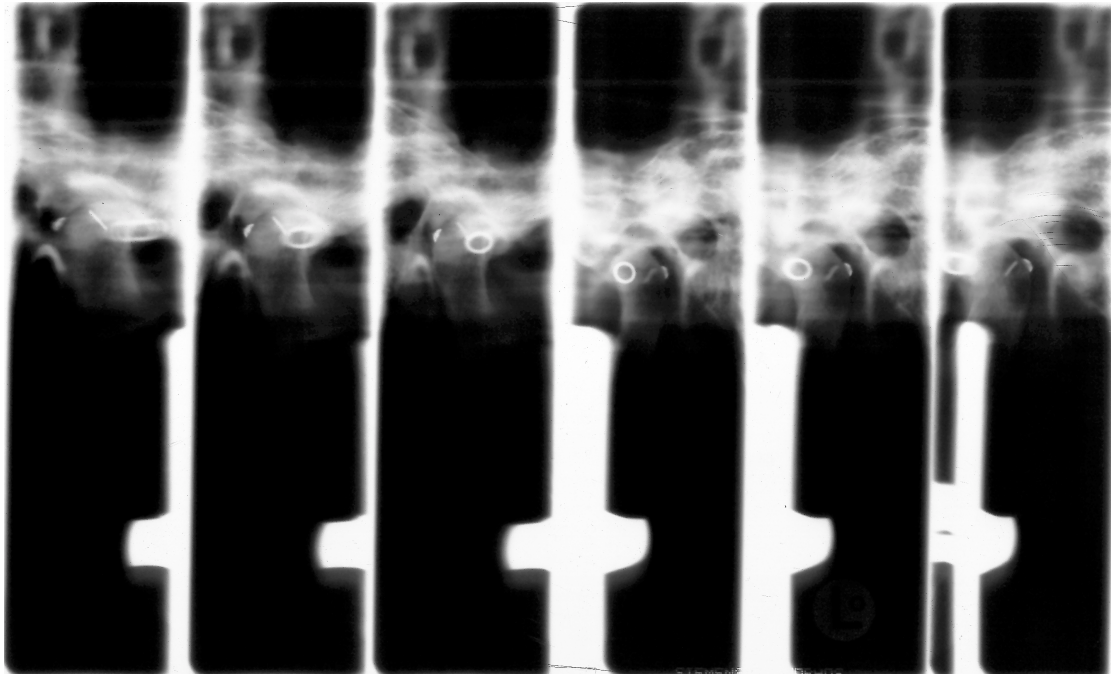


Abb. 20a: P8 in Idealposition

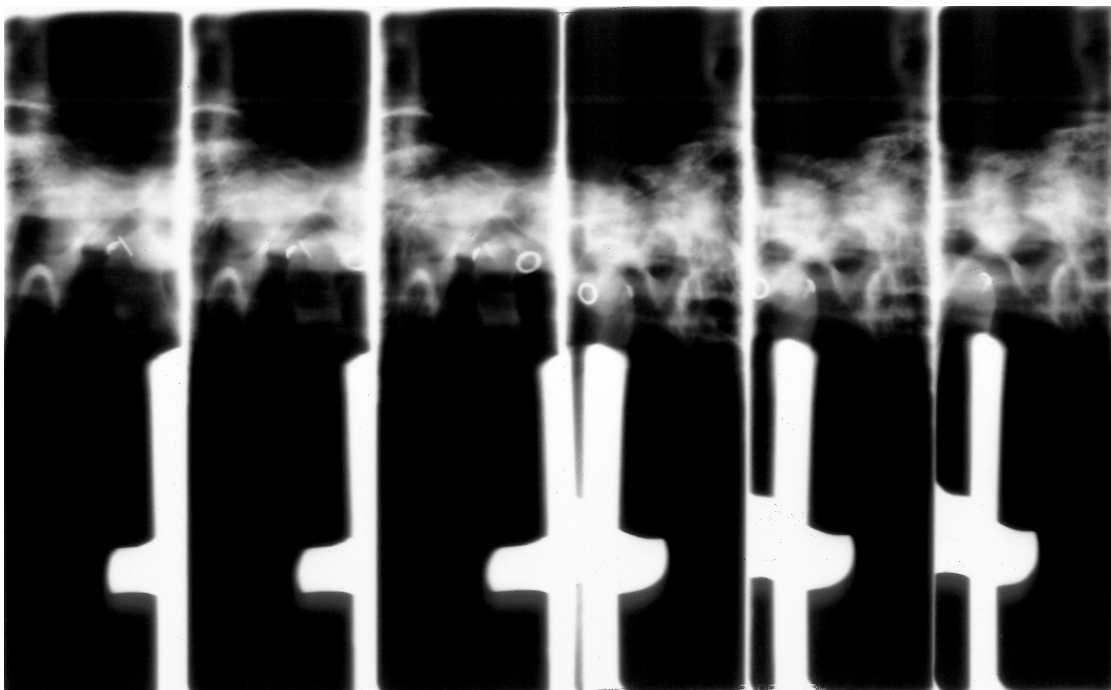


Abb.20b: P8 2° antekliniert

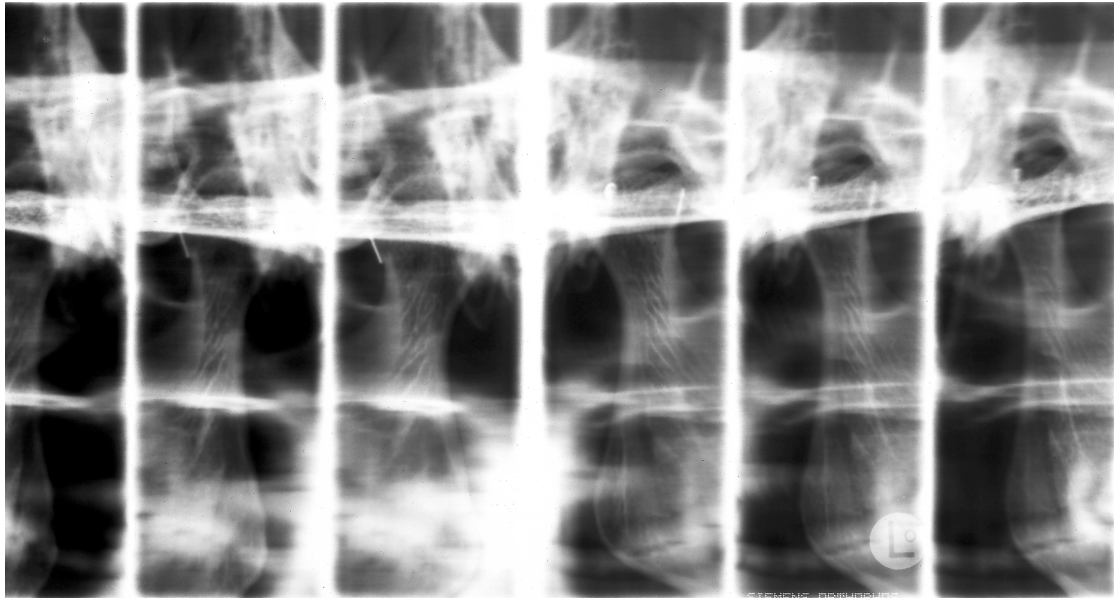


Abb. 21a: P9 in Idealposition

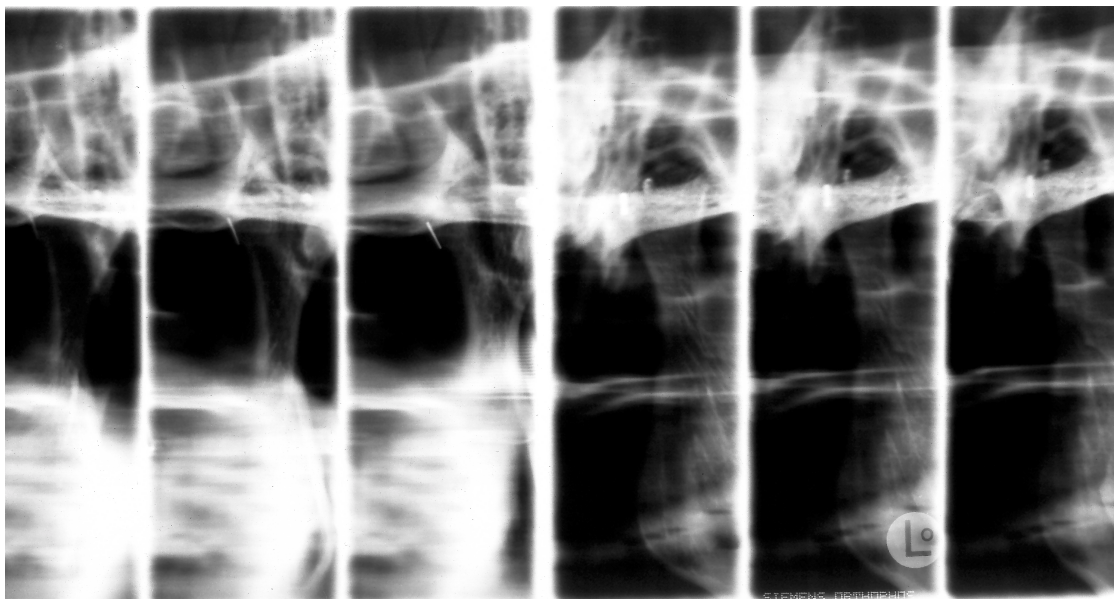


Abb. 21b: P9 2° linksinkliniert

Bei den Röntgenprogramm 8 und 9 war festzustellen, daß die Schichten, die den lateralen Anteil des Condylus darstellen, wesentlich empfindlicher auf Positionsänderungen reagieren, als die Schichtaufnahmen des medialen Condyluspols.

10.4 Ergebnisse der Fossaanalyse P4

Die auf dem OPG abgebildete Fossa articularis setzte sich aus unterschiedlichen Segmenten der anatomischen Gelenkgrube zusammen (siehe Abbildung 22a und b). Bei der Analyse der sechs mazerierten Schädel konnte festgestellt werden, daß sich die Kontur der Fossa articularis des rechten Kiefergelenkes vor allem durch Überlagerung des zentralen und lateralen Fossamarkers zusammensetzt. Die Kontur der Fossa articularis des linken Kiefergelenkes entstand vor allem durch Überlagerung des zentralen und medialen Fossamarkers.

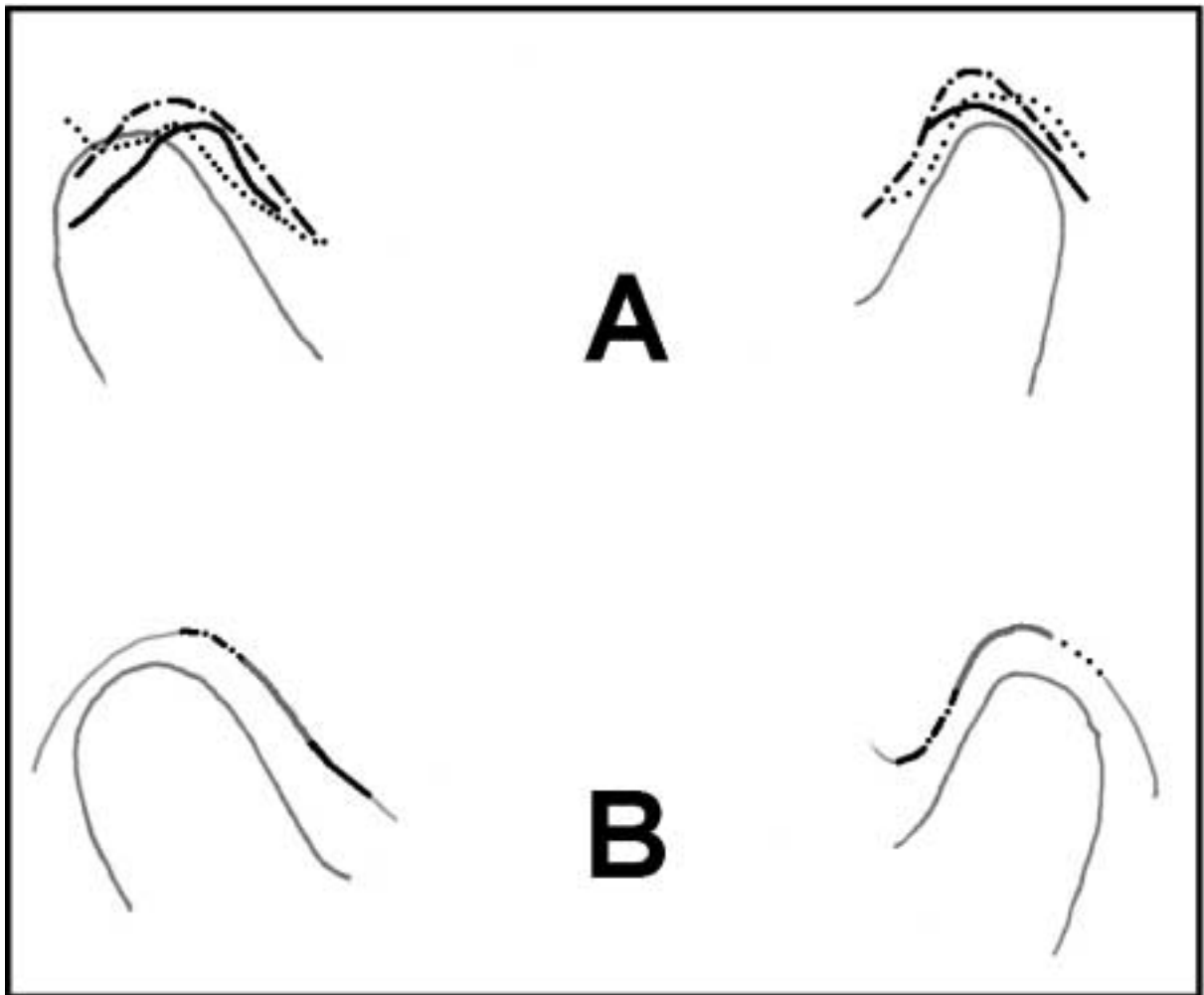


Abb. 22a: Auswertung des Programmes P4 des Orthophos CD Siemens. Fossaanalyse der rechten und linken Fossa articularis. A= Röntgenbild mit (...) medialem, (- · -) zentralem und (—) lateralem Fossamarker. B= Röntgenbild der Fossamarker, welche die Kontur (—) der im Röntgenbild normalerweise dargestellten Fossabegrenzungen wiedergeben.

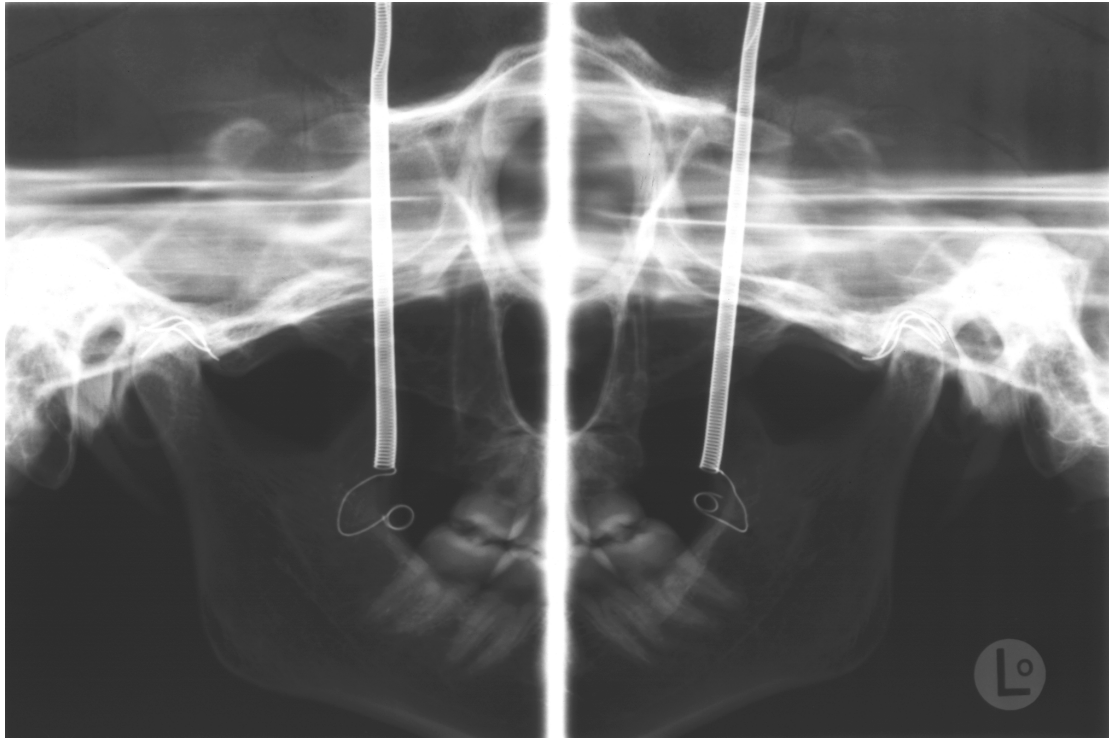


Abb. 22b: Röntgenbild des rechten und linken Condylus mit Drahtmarkierung der Fossa articularis zur Fossaanalyse.

11. Diskussion

In dieser Studie wurde das Röntgengerät Orthophos CD[®] (Siemens) hinsichtlich seiner Zuverlässigkeit für die Kiefergelenkdiagnostik untersucht. Dazu wurden sechs mazerierte Schädel auf einem Fotostativ fixiert und geringgradige Positionsänderungen durchgeführt. Anschließend wurden die Auswirkungen auf die Darstellung der Condylenform, der Gelenkspaltbreiten und die Projektion unterschiedlicher Condylusbereiche ausgewertet.

11.1 Material und Methode

Zur Überprüfung des Röntgengerätes Orthophos CD[®] (Siemens) wurden in der vorliegenden Studie, wie in den Arbeiten von Smith et al. (1989) und Jäger (1986), mazerierte Schädel verwendet. An diesen Schädeln wurden in Anlehnung an die Untersuchungen von Steinhardt (1988), Smith et al. (1989) und Ruf (1995) an den Condylen Metallmarkierungen befestigt, um fixe Referenzpunkte für die Messungen zu erhalten. Die Form der Condylen und der Unterkiefer der sechs Schädel wurden während der Untersuchungen nicht verändert. Die entstandenen Formabweichungen, Projektionsänderungen und Verzerrungen waren somit ausschließlich die Folge der Positionsänderungen der Schädel im Röntgengerät. Um die Positionsänderungen durchführen zu können, wurden die Schädel gemäß den Herstellerangaben mit Hilfe des Lichtvisiers, das sich an der Frankfurter Horizontalen und der Gesichtsmittle orientierte, der Stirnstütze, sowie den Ohrläppchen präzise im Röntgengerät positioniert. Aufgrund der gewählten Schädelposition errechnete der Computer die ideale Umlaufkurve und den exakten orthoradialen Strahleneinfallswinkel. Die richtige Schichttiefe wird laut Herstellerangaben analog ermittelt.

Um eine höhere Praxisnähe herzustellen, wäre es wünschenswert gewesen, die Röntgenaufnahmen mit Hilfe von Probanden zu erstellen, dies hätte aber für die Probanden eine unverhältnismäßig hohe Strahlenbelastung zur Folge gehabt und war daher aus ethischen Gründen abzulehnen. Eine Durchführung der Versuche anhand von Leichen ist grundsätzlich möglich (Carlsson et al., 1968), war aber für die vorliegende Studie nicht realisierbar.

11.2 Methodenfehler

Der Methodenfehler in der vorliegenden Arbeit war im wesentlichen die Folge geringfügiger Ungenauigkeiten bei der Einstellung der Schädel im Röntgengerät, sowie Meßfehler bei der Auswertung der Röntgenbilder. Der mittlere Methodenfehler lag bei ca. 0,60mm, der maximale Fehler bei 1,80mm und der minimale bei 0mm. Diese Abweichungen waren gering (vgl. Xie et al., 1996; Kjellberg et al., 1994; Kamelchuk et al., 1995), wenn man vergleichsweise die Dicke des Bleistiftstriches (0,50mm) in Betracht zieht, mit welchem die Auswertungen vorgenommen wurden. Dennoch waren die Abweichungen, die aus der Summation der Fehlerquellen resultierten noch sehr hoch, wenn man bedenkt, daß Marxkors (1993) eine tolerante Minimalabweichung von 0,30mm forderte. Eine Optimierung der Ergebnisse könnte eventuell durch die Konstruktion eines Stativs, das eine noch exaktere Feineinstellung und Feinjustierung der Schädel zuläßt, als das verwendete Fotostativ, erzielt werden.

11.3 Röntgenprogramm P4

Das im folgenden hinsichtlich seiner Darstellungsgenauigkeit untersuchte Röntgenspezialprogramm P4 stellte das rechte und linke Kiefergelenk, sowie den aufsteigenden Ast der Mandibula von lateral im Seitenvergleich dar. Die Condylusposition im Seitenvergleich, die Darstellung der knöchernen Veränderung im Bereich des Kiefergelenkes, speziell des Condyluskopfes stellen die Schwerpunkte des Programmes dar. Im Gegensatz zur Panoramaschichtaufnahme (OPG) wird beim Programm P4 der zahntragende Bereich der Mandibula ausgespart. Die Gelenkregion wird aus der gleichen Projektionsrichtung projiziert wie im OPG. Der Patient wird bei beiden Aufnahmetechniken einer ähnlichen Strahlenexposition ausgesetzt. Da in der Literatur keine Studien vorliegen, die speziell das Programm P4 untersucht haben, wird der folgende Literaturvergleich mit orthopantomographischen Studien durchgeführt.

Condylusform und Fossahöhe

Die Ergebnisse der Studie zeigten, daß sagittale Kippungen zu einer asymmetrischen Darstellung des linken und rechten Condylus im Röntgenbild führten. Bei der Retroklination war dieser Sachverhalt besonders auffällig, vor allem für die Condylushöhe und die

Condylusbreite. Forschungsergebnisse von Kjellberg et al. (1994) und Xie et al. (1996), die in ihren Arbeiten ebenfalls mehrere Schädel zur Untersuchung heranzogen, zeigten im Gegensatz dazu, daß eine anteriore oder posteriore Kippung des Schädels auf die Symmetrie der Condylen keinen Einfluß nahm. Sie beschrieben in ihren Arbeiten, daß eine sagittale Verschiebung insgesamt nur geringe Auswirkungen auf die dargestellten Strukturen hatte. Smith et al. (1989) fand hingegen eine Veränderung der Condylusform im Röntgenbild bei sagittaler Kippung. Er begründete die Feststellung damit, daß der Winkel der auftreffenden Röntgenstrahlen durch die sagittale Kippung laufend verändert wurde und der Condylus folglich jeweils aus einer anderen Perspektive abgebildet wurde. Zu gleichen Ergebnissen kamen Lewis (1979) und Kundert (1979).

In dieser Arbeit konnte nicht geklärt werden, weshalb die ermittelten Werte bei prinzipiell gleichartiger Positionsänderung im Bereich des rechten Condylus von denen des linken so stark abwichen. Eine mögliche Erklärung für die Abweichungen ist die Tatsache, daß die Mittelwerte von sechs Schädeln zur Berechnung herangezogen wurden.

Bei horizontalen Drehungen und seitlichen Kippungen kann es zu unsymmetrischen Darstellung des rechten und linken Kiefergelenks im Röntgenbild kommen. Strukturen, die sich durch die Kippung oder Drehung näher an der Filmkassette befanden, wurden im Röntgenbild verkleinert dargestellt. Im Gegensatz dazu erfuhren Strukturen, die in der Mitte des Rotationszentrums positioniert waren, eine vergrößerte Darstellung, da sie über eine vergrößerte Distanz abgebildet wurden (Tronje, 1981; Brueggeman, 1967; Lund, 1975; Rowse, 1971; Tronje und Welander, 1981). In dieser Arbeit wurden Linksrotationen und Linksinklinationen durchgeführt, das rechte Kiefergelenk befand sich dadurch näher am Rotationszentrum und erschien vergrößert auf dem Röntgenfilm, während das linke Kiefergelenk eine Verkleinerung erfuhr, durch die kürzere Distanz zur Filmkassette. Ritter (1972) und Updegrave (1971) beklagen ebenfalls eine mangelhafte Darstellung der Gelenkkomponenten im OPG, die je nach Größe des Schädels völlig verzerren oder komplett aus dem Bild verschwanden, obwohl die Patienten korrekt im Röntgengerät positioniert worden waren.

Es ist prinzipiell schwierig, den anatomisch elliptischen Condylus exakt im Röntgenbild darzustellen. Sämfors et al. (1978), Welander und Wickman (1978) verdeutlichten, daß kreisrunde Objekte im Röntgenbild den stärksten Verzerrungseffekten ausgesetzt seien. Sie

erschieden im Röntgenbild elliptisch oder eiförmig, was durch Kompression oder Elongation, je nach Einfallwinkel des Zentralstrahls hervorgerufen wurde. Ebenso unterlag der elliptische Condylus diesen Einflüssen. Dies erklärt auch, weshalb geringe, fortlaufende Positionsänderungen zu nicht linearen Veränderungen führten (Tveito, 1974), wie sie in der vorliegenden Studie beobachtet wurden.

Kundert und Palla (1979) legten in ihrer Studie dar, daß kleinste Veränderungen, die man unter klinischen Bedingungen in einem Röntgenbild noch wahrnehmen konnte, 0,5mm betrugen. Im klinischen Alltag können solche Veränderungen Erkrankungen des Kiefergelenks vortäuschen (Fröhlich, 1967; Eckerdal und Lundberg, 1975).

Gelenkspaltbreite

Der Gelenkspalt gibt indirekt wichtige Informationen über die nicht im Röntgenbild dargestellten Weichteilstrukturen, z. B. über die Dicke der Gelenkknorpel und des Diskus (Tveito, 1974). Die Dimensionen des Gelenkspaltes werden durch die Lage des Condylus im Gelenk, von der dorsalen Foveawand und der Form des Condylus bestimmt. Dieser kann walzenförmig, halbkreisförmig oder medial spitz zulaufend sein (Yale, 1969; Tveito, 1974). Nach Bednar (1996) konnte der Gelenkspalt nicht in seinem natürlichen Ausmaßen dargestellt werden, da sich die verschiedenen Strukturen, die den Gelenkspalt beeinflussten, im Röntgenbild unterschiedlich darstellten. Der Gelenkspalt kann nur zuverlässig beurteilt werden, wenn die knöchernen Gelenkanteile in ihrer tatsächlichen räumlichen Beziehung abgebildet werden (Kundert & Palla, 1977), dies ist bei Summationsbildern, wie bei dem untersuchten Röntgenprogramm jedoch nicht möglich. Trotzdem werden die Gelenkspaltbreiten auf Summationsaufnahmen zur Beurteilung der Kiefergelenke bzw. deren Funktionsstatus herangezogen (Bergstedt und Victorin, 1971; Kundert, 1979).

Bei Anteklation und Retroklination veränderte sich die Gelenkspaltbreite nur geringgradig, weitestgehend symmetrisch und nicht signifikant.

Die Linksrotation bzw. -inklination führte erwartungsgemäß zu unsymmetrischen Projektionsveränderungen im rechten und linken Kiefergelenk. Rechts zeigten sich vergrößerte Gelenkspaltbreiten und links nahezu unveränderte bis tendenziell kleinere, was

durch die unterschiedliche Lage im Bezug zum Film bzw. das Rotationszentrum (Tronje und Welander, 1981) bedingt war.

Der anteriore Gelenkspalt war am stärksten von Verzerrungen betroffen, da hier der Projektionsradius kürzer war, als in der posterioren Region des Gelenks (Tronje, 1981; Sämfors et al., 1978; Wilander & Wickman, 1978). Der posteriore Gelenkspalt zeigte eine höhere Toleranz gegenüber Positionsänderungen der Schädel. Kundert (1979), der sich ebenfalls in einer Studie mit der veränderten Darstellung der Gelenkspaltbreiten im Röntgenbild befaßte, erzielte das gleiche Ergebnis. Er bestätigte darin, daß der posteriore Gelenkspalt weniger von den Effekten der Verzerrung betroffen sei, als der anteriore. Bergstedt und Wictorin (1971) zogen sogar den posterioren Gelenkspalt zur Interpretation der Röntgenbilder heran und basierten darauf ihre Diagnosen.

Der kraniale Gelenkspalt lag hinsichtlich der Anfälligkeit für Projektionsänderung näherungsweise mittig zwischen dem anterioren und posterioren Gelenkspalt. Die Abweichungen von der Idealposition waren bei den verschiedenen Positionsänderungen der Schädel gering. Steinhardt (1989) betrachtete den kranialen Gelenkspalt als am häufigsten beurteilbar.

Sagittale Markerposition

Die sagittalen Kippungen - nach anterior und posterior - hatten auf das linke und rechte Kiefergelenk im Bezug auf die Darstellung der Markerposition im Röntgenbild symmetrische Auswirkungen. Eine Anteklation resultierte in einer anterioreren Darstellung des medialen Condylenpolmarkers und einer posterioreren Projektion des lateralen Condylenpolmarker. Die Retroklination führte im Vergleich zur Anteklation zu einer Umkehrung der ermittelten Ergebnisse, wobei der laterale Condylenpolmarker generell den stärksten Verzerrungen und Vergrößerungen unterlag.

Auffallend war, daß der posteriore Condylenpolmarker eine höhere Toleranz gegenüber den sagittalen Kippungen und den damit verbundenen Projektionsänderungen aufwies. Kundert (1979) konnte in seiner Studie ähnlich Ergebnisse erzielen und dokumentierte damit, daß der posteriore Anteil des Kiefergelenks geringeren Verzerrungs- und Vergrößerungseffekten

unterlag, als der anteriore und kraniale. Ebenfalls bestätigen Bergstedt und Wictorin (1971), daß die posteriore Kiefergelenkregion am zuverlässigsten zu beurteilen wäre.

Die Linksinklination hatte asymmetrische Auswirkungen auf die Markerposition, wobei besonders der laterale Condylenpolmarker betroffen war. Er wurde rechts anteriorer und links posteriorer im Bezug auf die Idealposition abgebildet. Durch Linksrotation wurden geringere Verzerrungs- und Vergrößerungseffekte auf die Darstellung der sagittalen Condylenpolmarker verursacht.

In der Literatur sind nur sehr wenige Studien beschrieben, die sich mit den Auswirkungen von Positionsänderungen auf angebrachte, feste Markierungen befassen. Verbeck und Linthorst (1994) stellten ebenfalls eine unsymmetrische Darstellung der Condylen im Röntgenbild fest. Kamelchuk et al. (1995) kamen im Gegensatz zur vorliegenden Studie zu dem Schluß, daß kleinere Positionsänderungen keine Auswirkung auf die Darstellung des Condylus im Röntgenbild hatten, da der Condylus dennoch in seiner relativen Form wiedergegeben wurde.

Vertikale Markerposition

Durch sagittale Kippung der Schädel nach anterior und posterior wurden beim rechten und linken Kiefergelenk asymmetrische Veränderungen im Röntgenbild hervorgerufen. Dies war bei der Anteklination besonders auffällig. Hierbei kam es im rechten Kiefergelenk mit fortlaufender Kippung zu einer kaudaleren Projektion der Marker, während im linken Kiefergelenk die Marker kranialer abgebildet wurden.

Die Retroklination zeigte im rechten Kiefergelenk nur eine geringgradige Auswirkung auf die Darstellung der Condylenpolmarker. Im linken Kiefergelenk erfuhr der posteriore und laterale Condylenpolmarker bei einer Kippung von zwei Grad eine vergrößerte Darstellung.

Die Linksrotation führte nur zu geringen Auswirkungen auf die Darstellung der Condylenpolmarker im Röntgenbild. Bei Linksrotation verhielt sich die Veränderung der Markerprojektion ähnlich wie bei der Anteklination - rechts wurden die Marker kaudaler (Zunahme der Strecke) und links kranialer (Abnahme der Strecke) projiziert, da sich das rechte Kiefergelenk näher am Rotationszentrum befand, während das linke filmnäher war (Tronje und Welanders, 1981; Pasler 1989).

Da Studien von Kjellberg (1994) und Xie et al. (1996) zeigten, daß rein sagittale Kippungen keinen nennenswerten Einfluß auf das dargestellte Kiefergelenk hatten, hielten sie vertikale Messungen für fundiert. Geringe Änderungen der Position des Patientenkopfes im Röntgengerät beeinflussten ihrer Meinung nach Messungen in der Condylusregion nicht. Diese Ergebnisse gehen konform mit den Erkenntnissen, die Tronje (1981) in seiner Studie gewinnen konnte, der die Auswirkungen des Verzerrungs- und Vergrößerungseffekts auf die vertikale Ebene nur als geringfügig einschätzte. Dennoch bezweifelte auch er die Genauigkeit der dargestellten vertikalen Distanzen und riet von linearen Messungen am Röntgenbild ab. Messungen sollten nur mit Vorsicht durchgeführt werden, da sie eine Beachtung des vorliegenden Vergrößerungsfaktors voraussetzen. Die vorliegende Studie bestätigte hingegen die Ergebnisse von Smith et al. (1989), denn durch sagittale Kippung wurde der Condylus, sowie einzelne Punkte des Kiefergelenks, jeweils in einer variierenden Perspektive abgebildet. Vertikale Distanzen unterlagen also ebenfalls einer veränderten Darstellung.

11.4 Röntgenprogramme P5, P8 und P9

Der Hersteller weist in der Beschreibung des Röntgenprogrammes ausführlich auf die Darstellungsschwerpunkte dieser Spezialprogramme hin. Sie eignen sich demnach besonders zur Beurteilung von Frakturen im Gelenkfortsatzbereich, zur Untersuchung arthrotischer Veränderung und zur Analyse der Knochenstrukturen. Ebenfalls können Abweichungen der Condylenposition im Gelenk dargestellt und Kiefergelenkerkrankungen sowie Formveränderungen diagnostiziert werden.

Die vorliegende Studie zeigte jedoch, daß sich bereits die Positionierung der Schädel im Röntgengerät schwierig gestaltete. Trotz hoher Sorgfalt und genauer Beachtung der Herstellerangaben, stellten sich die Condylen nicht auf allen Schichtbildern dar, was zu mehreren Fehlaufnahmen führte. Bereits geringgradige Positionsänderungen beim Röntgen bewirkten, daß die Condylen und die sie umgebenden anatomischen Strukturen einer enormen Verzerrung ausgesetzt waren oder überhaupt nicht auf dem Röntgenbild abgebildet wurden, so daß eine metrische Analyse der Röntgenbilder unmöglich war. Die Abbildungen der lateralen Region des Condylus war diesbezüglich am stärksten betroffen. Auch unter klinischen Gesichtspunkten wären diese Röntgenaufnahmen nicht beurteilbar gewesen. Nach Tronje (1981) und Türp et al. (1995) war eine exakte Positionierung des Patienten im Röntgengerät öfters unmöglich. Fehlpositionierungen waren aufgrund der verschiedenen

anatomischen Varianten, die sogar an ein und dem selben Schädel auftreten können, vorprogrammiert. Daher ist für die klinische Einsatzfähigkeit ein Mindestmaß an Toleranz der Programme gegenüber Positionsabweichungen zu fordern. Die Spezialprogramme P5, P8 und P9 erfüllten diese Forderung jedoch nur mangelhaft, was ihre klinische Anwendbarkeit in Frage stellt.

11.5 Fossaanalyse Programm P4

Die Fossa articularis des rechten Kiefergelenks wurde vor allem durch Überlagerung des lateralen und zentralen Fossamarkers dargestellt, während im linken Kiefergelenk eine Überlagerung des zentralen und medialen Fossamarkers das Bild dominierte. Dieses Ergebnis verdeutlicht, wie schwierig eine exakte Beurteilung der köchernen Situation im Röntgenbild ist (Kundert & Palla, 1977).

Nur wenige Studien zeigten Interesse an der Darstellung der Fossa articularis im Röntgenbild. Nach Freitag (1977) und Ruf (1995) war das Röntgenbild zur Darstellung der Fossa articularis nicht geeignet. Es vermittelt dem Betrachter einen falschen Eindruck vom gegenwärtigen Zustand des Kiefergelenks, da ihm durch das Röntgenbild der vermeintliche Eindruck vermittelt wird, daß die lateralste Ansicht der Fossa articularis dargestellt wird. Dies führt beim Betrachter, der sich nicht der Problematik bewußt ist, zu einem falschen Eindruck von den anatomischen Verhältnissen.

11.6 Klinische Konsequenzen

Es handelte sich bei den getesteten Röntgenprogrammen um Spezialprogramme, die für den Zweck entwickelt worden sind, Kiefergelenke radiologisch zu untersuchen, um anschließend eine genaue Diagnose stellen zu können. Wie die ermittelten Ergebnisse deutlich zeigten, war von den vier analysierten Röntgenprogrammen eines bedingt einsetzbar, das Röntgenprogramm P4. Dieses sollte aber nur mit dem Hintergrundwissen verwendet werden, daß die dargestellten Strukturen ebenfalls Verzerrungs- und Vergrößerungseffekten unterliegen. Aufgrund dieser Erkenntnisse ist eine vorausgehende, exakte klinische Untersuchung des Kiefergelenks, der beteiligten Muskulatur, sowie der Zähne ein Muß, um bereits im Vorfeld Symptome und pathologische Veränderungen abklären zu können, die einen wichtigen Hinweis auf die vorliegende Erkrankungen geben. Ein Röntgenbild als

einziges Untersuchungsmittel einzusetzen grenzt laut Geering (1975) an ein "willkürliches Ratespiel". Ein Röntgenbild des Programmes P4 kann nur als Untermauerung einer vorher gestellten Diagnose oder lediglich zur Orientierung zu dienen.

Das Röntgengerät war, wie die Ergebnisse zeigten, nicht in der Lage, das Kiefergelenk und die umgebenden knöchernen Strukturen in ihrer realen Lagebeziehung wiederzugeben. Durch geringgradige Positionsänderungen der Schädel wurden alle anatomischen Strukturen gleichermaßen von den Verzerrungseffekten betroffen. Es konnte keine Gesetzmäßigkeit ermittelt werden, die eine sichere Aussage über den vorliegenden Grad der Positionsänderung erlaubte. Goldman und Taylor (1985) hielten es sogar für ausgeschlossen, eine Erkrankung des Kiefergelenks im Röntgenbild frühzeitig zu erkennen, denn der Grad der bestehenden Erkrankung und pathologischen Knochensubstanzveränderung wurden häufig nicht dem wahren Ausmaß entsprechend dargestellt (Lindvall et al., 1976; Kundert & Palla, 1977; Jäger & Gräber, 1986).

Ein weiterer negativer Aspekt trat bei der Positionierung der Schädel im Röntgengerät zu Tage, die trotz hoher Sorgfalt bei der Einstellung mehrere Fehlaufnahmen verursachte. Mit den vom Hersteller vorgegebenen Einstellungshilfen - Lichtvisier, Frankfurter Horizontale und Ohroliven - konnte eine exakte (Re-)Positionierung nicht erreicht werden. Die Schichtprogramme P8 und P9 reagierten auf die Positionierung der Schädel besonders empfindlich. Nicht selten bewirkten geringgradige Positionsänderungen, daß der Condylus und die angrenzenden knöchernen Komponenten nicht mehr abgebildet wurden. Die Reproduzierbarkeit der Röntgenbilder, die eminent wichtig ist, um Krankheitsverläufe über einen längeren Zeitraum zu verfolgen, war in keinsten Weise gegeben. Aber bereits Positionsänderungen von einem Grad ließen eine massive veränderte Abbildung des Kiefergelenks entstehen. Türp et al. (1995) gab zu bedenken, daß eine genaue Positionierung des Patienten im Röntgenbild ohnehin nicht möglich sei. Tronje (1981) und Klein (1977) zeigten in ihren Studien, daß die Positionierung des Patienten im Röntgengerät bereits entscheidende Auswirkung auf die daraus resultierenden Verzerrungs- und Vergrößerungseffekte hatte, die im Röntgenbild sichtbar wurden.

Abschließend ist festzuhalten, daß das Spezialprogramm P4 gegenüber dem OPG keine entscheidenden Vorteile bietet, da daß Kiefergelenk aus der gleichen Aufnahmerichtung projiziert wird, wie im OPG und die Strahlenbelastung nicht wesentlich geringer ist. Das OPG

ist in jedem Fall von Vorteil, weil es ebenfalls eine Beurteilung des gesamten Kiefers zuläßt und auf diese Weise gleichzeitig eine Ausschlußdiagnostik anderer pathologischer Prozesse ermöglicht wird. Für eine genauere Diagnostik des Kiefergelenks ist keines der Spezialprogramme des Orthophos CD[®] empfehlenswert, Magnetresonanztomogrammen oder Computertomogrammen ist je nach Indikationsstellung der Vorzug zu geben.

12. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde analysiert, welche Auswirkungen Positionsänderungen von Schädeln auf die Darstellung der Kiefergelenkstrukturen in den Kiefergelenkspezialprogrammen P4, P5, P8 und P9 des Orthophos CD[®] (Siemens) haben.

Das Material umfaßte sechs mazerierte Schädel, die auf einem 3-D-Panorama-Fluid-Kopf für Fotostative fixiert waren. Um die Darstellungsgenauigkeit zu überprüfen, wurden mit den Schädeln Positionsänderungen von einem bis drei Grad je Raumebene durchgeführt. Dabei wurden die Auswirkungen der Positionsänderungen auf die Condylusform, auf den Gelenkspalt und auf am Condylus befestigte Marker metrisch ausgewertet. Desweiteren erfolgte eine Markierung der Gelenkgrube mittels Messingdrähten, um zu analysieren, welche Teile der Fossa articularis im Röntgenbild abgebildet werden.

Die Ergebnisse zeigten, daß alle untersuchten Röntgenprogramme äußerst anfällig für Verzerrungs- und Vergrößerungseffekte waren und die verschiedenen Kiefergelenkstrukturen nur bedingt anatomiegenau wiedergaben. Die Spezialprogramme P5, P8 und P9 lieferten radiologische Bilder, die aufgrund der starken Verzerrung und unscharfen Darstellung der knöchernen Strukturen, weder ausgewertet noch für diagnostische Zwecke verwendet werden konnten. Auswertbar war lediglich das Programm P4, aber auch hier unterlagen alle anatomischen Strukturen Verzerrungs- und Vergrößerungseffekten, die durch Positionsänderungen der Schädel hergerufen wurden. Besonders betroffen waren die lateralen Gelenkkomponenten und der anteriore Gelenkspalt.

Weiterhin konnte festgestellt werden, daß die Kiefergelenke am gleichen Schädel schon bei geringgradigen Positionsänderungen teilweise asymmetrisch im Röntgenbild dargestellt wurden, obwohl diese bei der Voruntersuchung am mazerierten Schädel keine wesentlichen Asymmetrien aufwiesen. Aufgrund dessen war ein Seitenvergleich der Kiefergelenke im Röntgenbild nur bedingt aussagefähig.

Die Kiefergelenkspezialprogramme des Orthophos CD[®] (Siemens) sind für die Kiefergelenkdiagnostik entweder aufgrund ihrer Fehleranfälligkeit nicht (P5, P8, P9) oder nur bedingt (P4) geeignet. Um den Patienten vor einer unnötigen Strahlenbelastung durch nicht aussagekräftige Röntgenbilder zu schützen, ist anderen bildgebenden Verfahren zur

Kiefergelenkdiagnostik, wie beispielsweise der Magnetresonanztomographie der Vorzug zu geben.

Literaturverzeichnis

Aquilino, S. A.; Matteson, S. R.; Holland, G. A.; Phillips, C. Evaluation of condylar position from temporomandibular joint radiographs. J Prosthet Dent 1985; 53: 88-97.

Bednar, J. TMJ imaging. CDS Review 1996; 83: 45-48.

Bergstedt, H.; Wictorin, L. The influence of the angle of projection on the linear error in craniolateral radiography of the temporomandibular joint. Acta Odontol Scand 1971; 29: 3-16.

Berry, D. C. The relationship between some anatomical features of the human mandibular condyle and its appearances on radiographs. Arch Oral Biol 1960; 2: 203-208.

Brader, A. C. The application of the principles of cephalometric laminography to the studies of the frontal planes of the human head. Am J Orthodont 1949; 35: 249-253.

Bueggeman, I. A. Evaluation of the Panorex unit. Oral Surg 1973; 24: 348-354.

Bush, F. M.; Harrington, W. G.; Harkins, S. W. Interexaminer comparison of bone scintigraphy and panoramic radiography of temporomandibular joints: Correlation with signs and symptoms. J Prosthet Dent 1992; 67: 246-251.

Carlsson, G. E.; Lundberg, M.; Öberg, T.; Welandar, U. The temporomandibular joint. A comparative anatomic and radiologic study. Odont Revy 1968; 19: 171-185.

Cederberg, R. A. Temporomandibular joint space analysis. J Cranio Mandibular Pract 1994; 12: 172-177.

Drücke, W.; Klemt, B. Kiefergelenk und Occlusion. Quintessenz 1980; 2: 381-384.

Eckerdal, O.; Lundberg, M. Periodic roentgenography of the temporomandibular joint. Dentomaxillofac Radiol 1975; 4: 4-13.

Eckerdal, O.; Lundberg, M. Temporomandibular joint relations as revealed by conventional radiographic techniques: a comparison with the morphology and tomographic images. Dentomaxillofac Radiol 1979; 8: 65-70.

Ericson, S.; Lundberg, M. Structural changes in the finger, wrist and temporomandibular joint. Acta Odontol Scand 1968; 26: 111-126.

Freitag, V.; Oeser, M. Die Darstellung der Kiefergelenke auf Panoramaübersichtsaufnahmen. Dtsch Zahnärztl Z 1977; 32: 537-541.

Fröhlich, F. Zur Reproduzierbarkeit von Kiefergelenkröntgenbildern. Schweiz Mschr Zahnheilk 1967; 57: 611-616.

Frykholm, A.; Malmgren, O.; Sämfors, K.-A.; Welanders, U. Angular measurements in orthopantomography. Dentomaxillofac Radiol 1977; 6: 77-81.

Geering, A. Beurteilung und Interpretation von Kiefergelenkröntgenbildern. Schweiz Mschr Zahnheilk 1975; 85: 385-398.

Goldman, S. M.; Taylor, R. Retrospective radiographic evaluation of 100 temporomandibular joint patients. J Prosthet Dent 1985; 53: 566-569.

Hostjö, G. H. An apparatus illustrating the mechanism in the temporomandibular joint. Odont Rev 1953; 4: 93-106.

Jäger, K.; Graber, G. Ist das schräglaterale Röntgenbild nach Lindblom eine Unterstützung in der Kiefergelenkdiagnostik? - Eine Untersuchung am mazerierten Schädel. Schweiz Mschr Zahnheilk 1986; 96: 530-545.

Jeff, T. C.; Sigsha, P. K.; Nanda, R. S.; Currier, G. F. Tomographic assessment of temporomandibular joints in patients with malocclusion. Angle Orthod 1996; 66: 27-36.

Kamelchuk, L. S.; Grace, M. G. A.; Major, P. W. Post-imaging temporomandibular joint space analysis. J Craniomand Pract 1996; 14: 23-29.

Katzberg, R. W.; Westmen, P. L. Diagnosis of the temporomandibular joint, Philadelphia: Saunders; 1994.

Kjellberg, H.; Ekestubbe, A.; Kikiaridis, S.; Thilander, B. Condylar height on panoramic radiographs. Acta Odontol Scand 1994; 52: 42-50.

Klein, I. E.; Blatterfein, L.; Miglino, J. C. Comparison of the fidelity of radiographs of mandibular condyles made by different techniques. J Prosthet Dent 1970; 24: 419-452.

Ködel, G. Erkrankungen des Kiefergelenks. In: Haunfelder, D., Hupfau, L., Ketterl, W., Schmuth, G. Praxis der Zahnheilkunde Bd. II. München: Urban & Schwarzenberg; 1969. S. 402-419.

Könönen, M.; Kilpinen, E. Comparison of three radiographic methods in screening of temporomandibular joint involvement in patients with psoriatic arthritis. Acta Odontol Scand 1990; 48: 271-277.

Koole, R. Diagnostik und chirurgische Eingriffe bei Schmerzen im Bereich des Kiefergelenks. Schw Mschr Zahnheilk 1996: 55-79.

Krajenbrink, T. G. A. The silhouette of the mandibular condyle on radiographs. Med. Diss., Groningen, 1994.

Krogh-Poulson, W. Zusammenhänge zwischen Lokalisation von Abrasionsfacetten und Schmerzen in der Kaumuskular und deren Bedeutung für Diagnostik und Behandlung. Öst Z Stomat 1967; 64: 402-411.

Kundert, M. Limits of perceptibility of condyle displacements on temporomandibular joint radiographs. J Oral Rehabil 1979; 6: 375-383.

Kundert, M.; Palla, S. Deutung und Fehldeutung in der okklusionsdiagnostischen Kiefergelenkradiologie. Schweiz Mschr Zahnheilk 1977; 87: 465-481.

Lewis, G. R. Temporomandibular joint radiographic technics. Comparison and evaluation of results. J Oral Rehabil 1979; 6: 375-379.

Lindvall, A.-M.; Helkimo, E.; Hollender, L.; Carlsson, G. E. Radiographic examination of the temporomandibular joint. Dentomaxillofac Radiol. 1976; 5: 24-32.

Ludlow, J.; Gilbert, D. B.; Tyndall, D. A.; Baily, T. Analysis of condylar position change on digitally subtracted Orthophos P-4 and sectograph zonogram images. J Adult Orthod Orthognath Surg. 1995; 10: 201-209.

Lund, T. M.; Manson, L. R. A Study of focal troughs of three panoramic dental x-ray machines. II. Image dimensions. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1975; 39: 647-653.

Marxkors, R. Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. München: Hanser Verlag; 1993. S. 324-329.

Mittermayer, Ch. Oralpathologie - Erkrankungen der Mundregion. Stuttgart: Schattauer; 1993. S. 291-298.

Moffet, B. The temporomandibular joint. In: Sharry J. J. Complete denture prosthodontics. New York: McGraw-Hill; 1968. 56-104.

Mongini, F. The importance of radiography in the diagnosis of TMJ dysfunction. J Prosthet Dent 1981; 45: 186-198.

Palla, S. Eine Studie über die Kondylenposition im Röntgenbild. Schweiz Mschr Zahnheilk 1977; 4: 304-309.

Pasler, F. A. Zahnärztliche Radiologie. Stuttgart: Thieme Verlag; 1989.

Preti, G.; Fava, C. Lateral transcranial radiography of temporomandibular joints. Part I: Validity in skulls and patients. J Prosthet Dent 1988; 59: 85-93.

Pullinger, A.; Hollender, L. Assessment of mandibular condyle position: A comparison of transcranial radiographs and linear tomograms. *Oral Surg* 1985; 60: 329-334.

Reich, R. H. Funktionelle Kiefergelenkchirurgie. In: Horch, H.-H.. *Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie I, Praxis der Zahnheilkunde 10/1*. München: Urban & Schwarzenberg; 1997. 167-183.

Ritter, W. Die Darstellung des Kiefergelenkes mit Hilfe des Panoramaschichtverfahrens. *Dtsch Zahnärztl Z* 1972; 12: 978-983.

Ritter, W. Die Darstellung des Kiefergelenks mit Hilfe der Panoramaaufnahmeverfahren. *Dtsch Zahnärztl Z* 1978; 32: 391-398.

Ritter, W. Röntgenuntersuchung der Zähne, der Kiefer und des Gesichtskeletts. In: Schwenzer, N., Grimm, G. *Allgemeine Chirurgie, Entzündungen, Mundschleimhauterkrankungen, Röntgenologie*. Band I. Stuttgart: Thieme Verlag; 1988. 320-412.

Roberts, D.; Pettigrew, J.; Ram, C.; Joseph, P. M. Radiologic techniques used to evaluate the temporomandibular joint; I. Conventional methods. *Anest Prog* 1984; 31: 197-206.

Rowse, C. W. Notes on interpretation of the orthopantomogram. *Br Dent J* 1971; 130: 425-427.

Ruf, S.; Pancherz, H. Is orthopantomography reliable for TMJ diagnosis? An experimental study on a dry skull. *J Orofac Pain* 1995; 9: 365-374.

Sämfors, K.-A.; Welanders, U.; Wickman, G. Elliptical narrow beam rotation radiography. *Acta Radiol: Diagnosis* 1978; 19: 129-138.

Schier, M. B. A. A new technique for radiography of the temporomandibular articulation. *Dent Items* 1943; 65: 324-331.

Schulte, W. Kiefergelenkerkrankungen und Funktionsstörungen, In: Schwenzer, N., Grimm, G., Spezielle Chirurgie, Band II. Stuttgart: Thieme Verlag; 1990. 140-220.

Setz, D. Ein Beitrag zur Röntgendiagnostik von Kiefergelenken. Zahnärztliche Welt Reform 1962; 63: 498-501.

Sjöblom, A.; Sämfors, K-A.; Welanders, U. Form distortion in narrow beam rotation radiography. Acta radiol Diagnosis 1975; 16: 565-563.

Smith, S. R.; Matteson, S. R.; Phillips, C.; Tyndall, D. A. Quantitative and subjective analysis of temporomandibular joint radiographs. J Prosthet Dent 1989; 62: 456-462.

Sonnabend, E. ; Benz, C. H. Röntgentechnik in der Zahnheilkunde. München: Urban & Schwarzenberg; 1991.

Steenks, A. Kiefergelenkfehlfunktionen aus physiotherapeutischer und zahnmedizinischer Sicht. Berlin: Quintessence Berlin; 1991.

Steinhardt, J. Röntgenologische Darstellung menschlicher Kiefergelenke mit dem Panoramaschichtgerät Zonarc. Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 232-236.

Stursberg, W. Möglichkeiten und Grenzen der Kiefergelenkdarstellung im Panoramaschichtverfahren. In: Schwenzer, N., Pfeifer, G. Fortschritte der Kiefer und Gesichts-Chirurgie. Stuttgart: Thieme Verlag; 1987. S. 37-39.

Tronje, G. Image distortion in rotational panoramic radiography. V. Object morphology; inner structures. Acta Radiol: Diagnosis 1981(Suppl 1): 59-62.

Tronje, G. Image Distortion in rotational panoramic radiography. Dento-Maxillo-Facial Radiology, 1982 (Suppl 3): 1-18.

Tronje, G., Eliasson; P. J.; Welanders, U. Image distortion in rotational panoramic radiography. II. Vertical distances. Acta Radiol: Diagnosis 1981; 22: 449-455.

Tronje, G.; Welander, U.; McDavid, W. D.; Morris, C. R. Image distortion in rotational radiography. I. General considerations. Acta Radiol: Diagnosis 1981; 22: 295-299.

Tronje, G.; Welander, U.; McDavid, W. D.; Morris, C. R. Image distortion in rotational panoramic radiography. III. Inclined objects. Acta Radiol: Diagnosis 1981; 22: 585-592.

Tronje, G.; Welander, U.; McDavid, W. D.; Morris, C. R. Image distortion in rotational panoramic radiology. IV. Object morphology; outer contours. Acta Radiol: Diagnosis 1981; 22: 689-696.

Tonje, G.; Welander, U.; McDavid, W. D.; Morris, C. R. Image distortion in rotational panoramic radiography. VI. Distortion effects in sliding systems. Acta Radiol: Diagnosis 1982 (Suppl 2): 153-160.

Türp, J. C.; Vach, W.; Strup, J. R. ; Harbich, K.; Alt, K. W. Erkennung von mandibulären Asymmetrien auf der Panoramaschichtaufnahme. Schweiz Mschr Zahnmed, 1995;105: 755-759.

Tveito, L. Beurteilung der Gelenkspaltbreite. Dtsch Zahnärztl Z 1974; 29: 550-553.

Ubdegrave, W. J. Visualizing the mandibular ramus in panoramic radiography. Oral Surg 1971; 31: 422-431.

Waldeyer, A.; Mayet, A. Anatomie des Menschen. Teil 2. Berlin: De Gruyter; 1993. S. 62-67.

Weinberg, L. A. What we really see in a TMJ radiograph. J Prosthet Dent 1973; 30: 898-913.

Welander, U. A mathematical model of narrow beam rotation radiography. Acta Radiol: Diagnosis 1974; 15: 305-317.

Welander, U., Wickman, G. Image distortion in narrow beam rotation radiography. Acta Radiol: Diagnosis 1978; 19: 507-512.

Westsson, L.-P.; Bifano J. A.; Tallents R. H.; Hatala M. P. Increased horizontal angle of the mandibular condyle in abnormal temporomandibular joints. A magnetic resonance imaging study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991; 72: 359-363.

Westsson, L.-P.; Liedberg J. Horizontal condylar angle in relation to internal derangement of the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1987; 64: 391-394.

Xie, Q.; Soikkonen, K.; Wolf, J.; Gong, M.; Ainamo, A. Effect of head positioning in panoramic radiography on vertical measurements: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25: 61-66.

Yale, S. H. Radiographic evaluation of the temporomandibular joint. *J Am Dent Assoc* 1969; 79: 102-108.

Yale, S. H., Allison, B. D. Hauptfuehrer, J. D. An epidemiological assessment of mandibular condyle morphology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1966;21:169-177.

Anhang

Im Anhang sind die Ergebnisse der „Idealposition“ des Röntgenprogrammes P8 für die Condylusform und die Gelenkspaltbreite (Tab. 19a und b) sowie die Markerposition (Tab. 20a und b) aufgeführt.

Ergebnisse der Markerpositionen (Programm 8)

Tab. 20a: Ermittelte Werte der lateralen (ML), medialen (MM) und posterioren (Pa, Pp) Condylenpolmarker [mm] des rechten Kiefergelenks in der Idealposition für die laterale, zentrale und mediale Condylusschicht. Die untersuchten Schädel (S1-S6) sind angegeben.

	Laterale								Zentrale								Mediale							
	Pp-Tk	Pa-TK	MM-TK	ML-Tk	MM-Kp	Pa-Kp	Pp-Kp	ML-Kp	Pp-Tk	Pa-TK	MM-TK	ML-Tk	MM-Kp	Pa-Kp	Pp-Kp	ML-Kp	Pp-Tk	Pa-TK	MM-TK	ML-Tk	MM-Kp	Pa-Kp	Pp-Kp	ML-Kp
S1	5,00	6,00	-7,00	4,50	-4,50	6,00	7,50	3,50	4,50	5,00	-6,50	4,00	-3,00	8,00	9,00	1,70	4,50	5,00	-6,50	4,00	-2,80	6,00	7,50	0,60
S2	8,00	8,00	-5,00	-7,50	-7,00	8,00	11,5	-1,50	7,50	8,00	-5,00	-7,50	-4,00	6,00	8,00	-1,50	7,50	8,00	-5,00	-7,00	-3,50	5,00	7,00	-1,20
S3	6,00	6,50	-4,00	8,50	-6,00	9,50	11,0	1,00	6,50	7,00	-4,00	8,50	-9,70	7,50	9,00	0,50	6,00	6,50	-4,00	8,00	-3,80	6,90	8,00	0,80
S4	-0,50	2,00	-6,00	-10,5	-4,50	4,00	4,00	-2,50	0,00	2,00	-6,00	-10,5	-3,00	2,90	3,00	-2,00	-0,50	1,50	-5,50	-10,0	-2,00	3,50	3,50	-0,70
S5	8,00	8,00	7,00	-8,00	1,00	5,50	7,50	-4,00	8,00	8,00	7,00	-7,50	1,00	5,00	6,50	-2,80	8,00	8,00	7,50	8,00	0,80	4,00	5,50	-2,50
S6	6,00	6,50	4,00	-12,0	1,00	7,00	9,00	-5,00	6,50	7,00	4,00	-12,0	0,00	5,00	7,50	-4,00	6,00	6,50	-4,00	-12,0	-1,00	4,00	5,50	-3,50

Tab. 20b: Ermittelte Werte der lateralen (ML), medialen (MM) und posterioren (Pa, Pp) Condylenpolmarker [mm] des linken Kiefergelenks in der Idealposition für laterale, zentrale und mediale Condylusschicht. Die untersuchten Schädel (S1-S6) sind angegeben.

	Laterale								Zentrale								Mediale							
	Pp-Tk	Pa-TK	MM-TK	ML-Tk	MM-Kp	Pa-Kp	Pp-Kp	ML-Kp	Pp-Tk	Pa-TK	MM-TK	ML-Tk	MM-Kp	Pa-Kp	Pp-Kp	ML-Kp	Pp-Tk	Pa-TK	MM-TK	ML-Tk	MM-Kp	Pa-Kp	Pp-Kp	ML-Kp
S1	6,00	6,00	-6,00	7,00	-5,00	9,00	10,0	5,90	5,50	5,00	-6,20	6,50	-3,00	7,00	8,00	4,00	6,00	6,00	-6,50	6,50	-3,00	5,00	6,00	2,00
S2	10,0	10,0	-4,50	8,50	-4,70	6,20	8,50	1,80	9,00	9,00	-5,00	5,50	-3,00	5,20	7,00	1,50	9,00	9,00	-4,00	8,00	-2,80	4,90	6,00	0,80
S3	5,50	6,00	-3,50	9,00	-5,50	12,0	13,8	4,00	5,00	5,50	-3,00	8,00	-4,50	8,50	10,0	2,00	5,00	6,00	-3,00	8,00	-3,00	7,20	8,50	2,00
S4	2,50	4,00	-4,00	10,0	-2,40	7,50	9,00	6,00	2,50	3,50	-4,00	10,0	-1,90	5,00	6,30	3,00	3,00	5,00	-4,00	10,0	-1,00	4,70	5,90	3,20
S5	5,00	6,00	-6,00	7,50	-3,00	6,10	7,10	1,09	5,00	5,50	-6,00	7,50	-2,50	4,50	5,00	1,00	5,00	5,50	-5,50	7,50	-2,50	3,20	4,50	0,50
S6	7,00	7,50	-5,50	11,0	-2,00	6,00	8,00	1,00	6,00	6,50	-5,00	11,0	-3,00	5,50	7,00	1,00	6,50	7,00	-5,00	10,0	-2,50	5,00	7,00	0,00

Ergebnisse der Condylusformmessung und Gelenkspaltbreiten (Programm 8)

Tab. 19a: Ermittelte Werte der Condylenform [mm] des rechten Condylus in der Idealposition für die laterale, zentrale und mediale Condylusschicht. Die untersuchten Schädel (S1-S6) sind angegeben. Nicht auswertbare Strecken sind mit X markiert.

	Laterale						Zentrale						Mediale					
	Condylus		Fossa -höhe	Gelenkspaltbreite			Condylus		Fossa -höhe	Gelenkspaltbreite			Condylus		Fossa -höhe	Gelenkspaltbreite		
	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior
S 1	12,00	10,00	7,00	5,00	1,60	4,00	13,00	10,50	7,50	6,00	2,00	3,50	X	X	X	X	X	X
S 2	9,00	9,00	12,50	6,00	1,70	2,00	10,50	10,00	10,50	6,00	2,50	2,00	12,50	8,00	11,00	6,00	4,00	3,50
S 3	9,00	10,00	10,00	5,00	1,00	2,30	11,00	12,00	9,00	4,00	1,00	3,00	13,00	11,80	10,00	4,50	2,00	3,50
S 4	14,50	10,00	10,50	5,00	1,50	5,00	17,50	10,00	10,50	5,50	2,00	5,00	22,50	5,10	10,20	5,00	3,00	X
S 5	9,00	7,50	10,20	3,50	1,00	3,00	11,10	9,10	9,80	3,00	1,50	2,20	11,00	7,00	9,20	3,70	2,00	2,10
S 6	11,00	7,00	10,40	5,00	2,00	4,00	14,00	8,00	11,00	5,00	2,00	4,50	17,00	8,00	10,50	4,80	1,00	4,00

Tab. 19b: Ermittelte Werte der Condylenform [mm] des linken Condylus in der Idealposition für laterale, zentrale und mediale Condylusschicht. Die untersuchten Schädel (S1-S6) sind angegeben. Nicht auswertbare Strecken sind mit X markiert.

	Laterale						Zentrale						Mediale					
	Condylus		Fossa -höhe	Gelenkspaltbreite			Condylus		Fossa -höhe	Gelenkspaltbreite			Condylus		Fossa -höhe	Gelenkspaltbreite		
	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior	Breite	Höhe		kranial	anterior	posterior
S 1	13,00	10,00	X	4,00	X	6,50	13,00	8,50	9,50	4,50	1,00	4,00	9,50	11,00	9,00	4,00	1,50	4,20
S 2	13,00	9,00	9,50	5,00	2,50	2,50	11,00	9,50	9,50	5,00	2,10	2,10	9,10	9,10	9,00	5,50	2,00	2,50
S 3	X	X	X	X	X	X	13,00	10,50	11,00	4,00	2,00	3,80	10,50	10,60	10,00	4,00	2,00	2,00
S 4	19,00	13,00	X	3,90	1,20	X	16,00	11,00	1,00	5,00	1,90	4,00	13,00	12,00	11,00	4,00	0,90	3,00
S 5	X	X	X	X	X	X	10,00	11,00	8,70	2,20	0,80	1,50	9,00	7,00	9,00	2,10	1,50	1,20
S 6	14,40	8,80	9,50	4,00	1,50	0,80	10,00	9,00	9,80	3,50	2,00	1,00	8,00	8,00	11,00	4,50	1,50	1,00

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name:	Sonja Giebel, geb. Köhler
Geburtstag / -ort:	17. August 1971 in Kulmbach
Familienstand:	verheiratet seit dem 11. April 1997 mit Dr. med. Manfred Giebel, Sanitätsoffizier (Arzt)
Vater:	Arno Köhler, Polizeihauptkommissar i.R.
Mutter:	Erika Köhler, geb. Hofmann, Hausfrau
Geschwister:	ein Bruder (32 Jahre)

Schulbildung:

1978 -1982	Volksschule Burgkunstadt - Mainroth
1982 -1986	Gymnasium Burgkunstadt
1986 -1991	Meranier-Gymnasium Lichtenfels
10.07.1991	Abitur

Berufliche Ausbildung:

01.09.1991 - 31.10.91	Ausbildung zur Zahnarzthelferin
01.11.1991 - 13.12.91	Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen - Nürnberg
01.01.92	Eintritt in die Bundeswehr als Sanitätsoffizieranwärter
SS 93 – WS 94	Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen - Nürnberg
SS 94 – WS 98	Studium der Zahnmedizin an der Justus-Liebig-Universität Gießen
13.07.1998	Zahnärztliches Staatsexamen
14.07.1998	Erteilung der Approbation zur Zahnärztin
27.07.1998	Stabsarzt in der Zahnarztgruppe Koblenz
Seit 01.04.2001	Leiter Zahnarztgruppe Daun

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Pancherz für die Überlassung des Themas und die gute Zusammenarbeit bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Sabine Ruf. Sie war meine Ansprechpartnerin in allen großen und kleinen Fragen, gab mir viele Anregungen und betreute mich. Da ich ihr Engagement nicht als selbstverständlich ansehe, möchte ich ihr dafür herzlichst danken.

Weiterhin bedanke ich mich bei dem Anthropologischen Institut der Justus Liebig Universität Gießen für die Bereitstellung der Schädel, ohne die die vorliegende Arbeit nicht realisiert hätte werden können. Herrn Meyer von der Zahnklinik danke ich für den Druck der Röntgenbilder. Dem Institut für Medizinische Informatik der Justus Liebig Universität danke ich für die Überprüfung der statistischen Berechnungen.

Mein größter Dank gilt meinem lieben Ehemann Manfred, ohne dessen Motivation und unendliche Geduld diese Arbeit nie entstanden wäre.